Промышленность и техника

Томъ II

Силы природы

и ихъ примѣненія въ промышленности и техникѣ

Составили профессора

Л. Грунмахъ и **Е. Розенбоомъ**

Полный перѣводъ (съ нѣкоторыми измѣненіями) съ IX нѣмецкаго изданія, подъ редакц. профессора Технологическаго Института Императора Николая I

Н. А. Гезехуса

---

936 рисунковъ въ текстѣ и 3 отдѣльныхъ приложенія (хромолитографіи и черныхъ картинъ)

С.-Петербургъ

Типографія Товарищества „Просвѣщеніе“, 7 рота, 20

1902

Промышленность и техника

Томъ II

Промышленность и техника

Энциклопедія промышленныхъ знаній

профессоровъ: **Аренсъ, Арндтъ, Борхерсъ, Брюггеманъ, Вильке, Вюстъ, Гари, Гедике, Гейнцерлингъ, Гехтъ, Грунмахъ, Гюртлеръ, Даленъ, Зеттегастъ, Кастнеръ, Кохъ, Крамеръ, Крафтъ, Лассаръ-Конъ, Лёвенталь, Линдъ, Лутмеръ, Мите, Песслеръ, Плива, Рело, Рэ, Ровальдъ, Розенбоомъ, Трептовъ, Троске, Фаульвассеръ, Шварцъ, Шмидтъ, Шурцъ,** *Эбе и мн. др.*

Полный переводъ съ IX нѣмецкаго изданія съ значительными оригинальными дополненіями, подъ редакціей профессоровъ

А. А. Байкова, В. И. Баумана, Н. А. Гезехуса, В. Я. Добровлянскаго, А. Н. Митинскаго, Н. Н. Митинскаго, И. В. Мушкетова, В. В. Скобельцына, В. В. Эвальда и др.

---

100 выпусковъ или 10 томовъ въ роскошн. полукожан. перепл. Около 8000 страницъ. 7000 рисунк. въ текстѣ и 100 хромолитогр., картъ, плановъ въ краскахъ и черн. картинъ



С.-Петербургъ

Книгоиздательское Т-во „Просвѣщеніе", Невскій пр. 50

1902

Дозволено цензурою. С-Петербургъ 10 іюня 1902 г.



Предисловіе къ переводу.

Значеніе книги „Силы природы и ихъ примѣненія“ заключается главнымъ образомъ въ обильныхъ историческихъ свѣдѣніяхъ и въ разнообразныхъ техническихъ примѣненіяхъ, поясняемыхъ многочисленными хорошими рисунками. Она не составляетъ просто общедоступнаго начальнаго учебника „технической физики“; для этого она слишкомъ обширна и въ ней слишкомъ много разнообразнаго матеріала. Сочиненіе это скорѣе можетъ служить прекраснымъ дополненіемъ къ любому учебнику физики. Это отличная справочная книга, необходимая всякому дѣйствительно образованному человѣку. Она изложена интересно, послѣдовательно и систематично и потому не можетъ быть замѣнена какимъ либо справочнымъ словаремъ. Переводъ очень близокъ къ оригиналу. Отступленій очень не много. Кое что только выпущено, безъ ущерба дѣлу, въ отдѣлѣ объ измѣрительныхъ приборахъ; но за то въ другихъ отдѣлахъ имѣются нѣкоторыя дополненія, касающіяся главнымъ образомъ русскихъ изобрѣтателей.

Въ переводѣ принимали участіе гг. А. Н. и Н. Н. Георгіевскіе (первому принадлежатъ: звукъ, часть оптики и электростатика; второму — отдѣлъ о двигателяхъ), С. Г. Егоровъ (о воздухоплаваніи), В. Н. Нелюбовъ (механика, теплота и пр.), А. А. Петровскій (измѣрительные приборы) и Б. Л. Розингъ (электродинамика).

12 мая 1902.

Н. Гезехусъ.

Оглавленіе.

Механика или ученіе о движеніи тѣлъ.

Инженера Ө. Розенбоомъ.

Физическія явленія и силы.

Значеніе и примѣненія ихъ въ практической жизни.

Профессора Л. Грунмаха.

Перечень иллюстрацій.

I.

Механика
или ученіе о движеніи тѣлъ.

Инженера **Розенбоома**.

Введеніе.

Der Weise
Sucht das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern,
Sucht den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.

Goethe.

Мудрѣйшіе и лучшіе люди всѣхъ временъ и народовъ въ теченіи тысячелѣтій стремились распознать причины всего сущаго. И съ самаго начала при этомъ обозначились два пути; изслѣдователи и мыслители исходили изъ двухъ различныхъ точекъ зрѣнія.

Эмпирическій или физическій способъ изученія обнимаетъ явленія такимъ образомъ, какъ они сами представляются нашему мышленію; онъ собираетъ опытныя даннныя, изслѣдуетъ и распредѣляетъ ихъ, и затѣмъ уже строитъ изъ ихъ совокупности систему естествознанія, въ обширномъ смыслѣ слова. Напротивъ, трансцендентное, внѣ области опыта лежащее міровоззрѣніе, совершенно отвергаетъ знанія явленій, какими они намъ представляются; оно исходитъ, главнымъ образомъ, изъ того положенія, что весь опытъ и вмѣстѣ съ тѣмъ и всѣ системы, основанныя на эмпирическихъ знаніяхъ, т. е., естественныя науки должны покоиться только на представленіяхъ, существующихъ въ нашемъ сознаніи. Главный вопросъ его всегда былъ тотъ, таковы ли дѣйствительно всѣ предметы, каковыми они представляются нашему мышленію, именно матеріальными въ пространствѣ и во времени, или же въ этой формѣ они являются только нашему уму, не способному постигнуть ихъ сущности? Изъ этого трансцендентнаго начала вытекаетъ метафизика или философія, задача которыхъ заключается въ изслѣдованіи, что такое предметы сами по себѣ, независимо отъ того, какими они являются для насъ. Единственное средство познанія внѣшнихъ для насъ предметовъ составляютъ наши чувства; только посредствомъ нихъ наша способность мышленія сообщается съ предметами. Когда мы говоримъ — цвѣтокъ красенъ, то это значитъ: на сѣтчатую оболочку нашего глаза свѣтовые лучи извѣстной длины волны произвели нѣкоторое раздраженіе, которое передалось центральному органу, мозгу, и этимъ послѣднимъ воспринялось какъ именно то, что мы называемъ краснымъ цвѣтомъ. При дрожаніи струны или металла какого нибудь инструмента приходитъ въ колебаніе и воздухъ; эти же послѣднія колебанія посредствомъ уха дѣйствуютъ на слуховые нервы, и смотря по роду впечатлѣнія, мы слышимъ воздушныя колебанія какъ тоны или скрипки, или рога, напримѣръ. Безъ особеннаго устройства нашего глаза или уха, такъ же какъ и нашей нервной системы, цвѣтокъ не казался бы намъ краснымъ, скрипка и рогъ не издавали бы никакого тона; для слѣпыхъ несуществуетъ красокъ, для глухихъ — звуковъ.

Философія заключаетъ поэтому, что качества, которыя мы обыкновенно приписываемъ тѣламъ, никоимъ образомъ не присущи имъ на самомъ дѣлѣ, а составляютъ лишь представленія нашего ума. Но такъ какъ весь мате-

ріальный міръ, существующій въ пространствѣ и времени, достигаетъ до нашего сознанія только путемъ такого воздѣйствія на нашу нервную систему, то и весь міръ, включая и наше собственное тѣло, не что иное какъ наше представленіе. Эти заключенія образуютъ логическую цѣпь; въ ея послѣдовательности, метафизическія разсужденія приводятъ къ отрицанію дѣйствительности матеріальнаго міра. И сами основныя понятія также — пространство, время, причинность — апріорные элементы философіи, они составляютъ только понятія, присущія особенностямъ нашей мыслительной способности. Пространство мы можемъ себѣ представить только въ соединеніи съ понятіемъ о веществѣ; безъ матеріи, заполняющей пространство, это послѣднее было бы одною лишь несущественной схемой. И время само по себѣ не имѣетъ существеннаго значенія; оно составляетъ понятіе только въ соединеніи съ движеніемъ, которое, въ свою очередь, связано съ веществомъ; безъ движенія нѣтъ времени. Если бы прекратилось всякое движеніе, включая сюда и нашу жизнедѣятельность, то понятіе о времени потеряло бы всякій смыслъ. Наши измѣренія времени исходятъ изъ равномѣрнаго движенія. Въ одинъ годъ земля совершаетъ одинъ оборотъ вокругъ солнца, а въ одинъ день она сама оборачивается около своей оси. Когда, въ извѣстной сказкѣ, монахъ Гейстербахъ, задумавшись надъ библейскимъ изреченіемъ „Для Господа тысячелѣтіе какъ одинъ день и одинъ день для Него какъ тысяча лѣтъ“, впалъ въ глубокій сонъ, т. е., для него прекратилось всякое движеніе, то при пробужденіи, къ его удивленію, оказалось, что съ тѣхъ поръ протекло уже болѣе человѣческаго вѣка. Въ другой какой-либо міровой системѣ, въ которой могли бы обитать разумныя существа, могли бы вмѣстѣ съ тѣмъ господствовать у нихъ совершенно иныя, чѣмъ наши, понятія о времени. Уже въ древней индійской философіи встрѣчается такое сознаніе, выраженное въ слѣдующей сказкѣ. Малабганъ, супруга Патипудшика, спустилась съ неба на землю и прожила на ней цѣлый вѣкъ; когда же она послѣ смерти вернулась снова въ міръ боговъ, то узнала она, что, по понятіямъ о времени въ этомъ мірѣ, она пробыла на землѣ всего нѣсколько часовъ.

Вернемся, однако, къ начальной точкѣ нашихъ разсужденій. Если, по заключенію философіи матеріальный міръ существуетъ только въ нашемъ воображеніи, а не въ дѣйствительности, то попытаемся поставить на мѣсто матеріальныхъ тѣлъ силы и законы природы; послѣдніе дѣйствуютъ на насъ непосредственно, какъ тѣла; вещество же дѣйствуетъ на наши чувства не прямо, а только при посредствѣ связанныхъ съ нимъ силъ. Если поэтому мы можемъ вообразить себѣ силы, если сущность силъ природы поддается нашему мышленію, то и матерія, съ которой связаны силы, становится къ намъ ближе и мы въ состояніи можетъ быть и совсѣмъ тогда отречься отъ понятія о тѣлѣ и веществѣ. Мы бы научились тогда понимать все сущее посредствомъ силъ и удовлетворили бы присущую намъ потребность стремиться къ познанію причинъ.

Но мы настолько же мало въ состояніи уразумѣть силы природы или по крайней мѣрѣ понятіе силы, какъ и матерію, и съ эмпирической точки зрѣнія даже и еще меньше. Законы природы составляютъ только выраженія для дѣйствій силъ природы тѣхъ правилъ, которыя устанавливаются людьми на основаніи опыта. Эти дѣйствія опять мы знаемъ не въ самихъ по себѣ, а только въ ихъ послѣдовательности; мы видимъ, ощущаемъ, чувствуемъ только вслѣдствіе вліянія ихъ на наши чувства; и изъ нѣкотораго числа подобныхъ наблюденныхъ нами дѣйствій мы строимъ себѣ силы природы и ихъ законы. Если бы мы захотѣли проникнуть глубже, пожелали бы мы уразумѣть сущность силы, то мы нашли бы, что это также закрыто для нашей мыслительной способности, какъ и „вещь сама въ себѣ“ въ философіи.

Механика даетъ слѣдующее опредѣленіе: „Сила есть причина измѣненія движенія тѣла". Это объясненіе достаточно, чтобы служить основаніемъ для математическаго развитія практическихъ задачъ механики, хотя оно и не вполнѣ безупречно даже съ чисто эмпирической точки зрѣнія; въ самомъ дѣлѣ, строго говоря, причиною движенія можетъ быть только опять таки предшествовавшее ему движеніе. Наше познаніе такимъ объясненіемъ не можетъ быть двинуто впередъ; оно не заключаетъ въ себѣ подходящаго понятія для нашей мысли.

Мы постоянно видимъ дѣйствія силъ, на которыя, однако, не обращаемъ вниманія, такъ какъ слишкомъ къ нимъ привыкли; они кажутся поэтому намъ совершенно естественными и очевидными, не требующими никакого объясненія и не нуждающимися ближайшаго изслѣдованія. Правда, намъ само по себѣ понятно все, что зиждется на незыблемомъ господствѣ силъ природы, хотя вмѣстѣ съ тѣмъ и не ясно и непостижимо; напротивъ: даже всѣ обыденныя явленія въ своей сущности остаются для нашего мышленія недоступными. Взявъ даже самый простой и ближайшій примѣръ, мы все-таки найдемъ, что онъ заключаетъ въ себѣ труднѣйшій вопросъ. Я держу въ рукѣ камень, когда я разожму ее, то камень упадетъ на землю. „Да вѣдь это само собою понятно, *ясно*", какъ думаютъ, „*такъ какъ онъ тяжелъ*". Нѣтъ, это совсѣмъ не очевидно, напротивъ въ высшей степени удивительно; болѣе понятнымъ скорѣе было бы, если бы камень остался висѣть въ воздухѣ; потому что, какимъ образомъ можетъ тѣло изъ покоя придти въ движеніе безъ внѣшняго толчка? Вѣдь, между землею и падающимъ камнемъ нѣтъ, повидимому, никакой связи; воздухъ, заполняющій данное пространство, не можетъ служить причиной движенія, такъ какъ камень падаетъ и въ безвоздушномъ пространствѣ. Какимъ же образомъ мы можемъ представить себѣ дѣйствіе земли на тѣло, находящееся внѣ ея, безъ какихъ либо посредствующихъ членовъ? Съ чисто эмпирической точки зрѣнія эта загадка не можетъ быть разрѣшена; мы должны снова прибѣгнуть къ отвлеченному понятію „сила" и принять какъ бы исходящую изъ земли и дѣйствующую на разстояніи нѣкоторую силу, заставляющую камень падать; это и есть сила тяжести или тяготѣніе. И такъ мы нашли, по крайней мѣрѣ, хоть слово, но соединеннаго съ нимъ понятія или сущности найденной силы мы все-таки *не достигли*. „*Гдѣ не хватаетъ понятія, тамъ во время взамѣнъ его является* слово", какъ сказалъ Мефистофель въ „Фаустѣ."

По мѣрѣ того какъ изслѣдователь все болѣе углубляется въ изученіе дѣйствій силъ природы и ихъ законовъ, онъ вмѣстѣ съ тѣмъ все болѣе убѣждается въ томъ, что дѣйствительная сущность силъ природы и конечныя причины всѣхъ вещей остаются для насъ закрытыми. Это прямо зависитъ отъ ограниченности человѣческой познавательной способности. Граница нашихъ познаній, правда, постоянно расширяется; но съ каждымъ новымъ пріобрѣтеніемъ сейчасъ же представляется и новый вопросъ. Никогда намъ не удастся открыть связи между несущественнымъ понятіемъ сила и ощущаемой матеріей. Философія со временъ Канта приходитъ къ выводу, что тѣла составляютъ только нѣкоторыя формы представленія для насъ вещей самихъ въ себѣ. Естествознаніе въ своемъ изслѣдованіи должно остановиться передъ понятіемъ сила, которое, можетъ быть, должно разсматривать какъ тождественное съ метафизическою вещью въ самой себѣ.

Хотя послѣдніе выводы какъ естественно-научнаго такъ и философскаго изслѣдованій и приводятъ къ непостижимому, хотя мы должны сомнѣваться въ возможности проникнуть въ объективный міръ и установить логическую связь между несущественнымъ понятіемъ сила и управляемой ею матеріей, но естествоиспытатель не можетъ все-таки удовольствоваться такимъ результатомъ; не гоняясь за недоступнымъ, чтобы не потерять и доступнаго, и пре-

доставляя философiи разсужденiя о конечныхъ границахъ познанiя, онъ можетъ все-таки и другимъ путемъ достигнуть прекрасныхъ результатовъ, какъ это показываетъ блестящее развитiе точныхъ наукъ во второй половинѣ истекшаго XIX столѣтiя.

Оставивъ въ сторонѣ вышеизложенное основное ученiе философiи, что вещи существуютъ только въ нашемъ представленiи, мы становимся на ту правильную эмпирическую точку зрѣнiя, удовлетворяющую нашъ здравый смыслъ и, помимо всякой философiи, вполнѣ достаточную для практической жизни, что тѣла реальны и что наши чувства даютъ правильныя о нихъ понятiя; при этомъ естественно-научному изслѣдованiю открывается широкая дорога. Въ самомъ дѣлѣ, тогда теряетъ всякое значенiе для построенiя точной науки вышеприведенный философскiй выводъ, что окружающiй насъ мiръ познается умомъ только посредствомъ нашихъ чувствъ. Теорiя познанiя составляетъ самостоятельную науку, выводы которой должны примѣняться къ естествознанiю не какъ его основы, а только какъ дополненiя, и то съ осторожностью. Поэтому, несмотря на метафизическое отрицанiе, мы можемъ безъ сомнѣнiя принять, что внѣшнiй для насъ мiръ существуетъ, что на матерiю дѣйствуютъ силы, носительницей которыхъ является та же матерiя. И то, и другое связано между собою неразрывно, хотя мы и не знаемъ, какъ; это по тому, что матерiя безъ силы, сама по себѣ, не могла бы вызвать только однимъ своимъ присутствiемъ никакого дѣйствiя, никакого перемѣщенiя, и однѣ силы такъ же не могли бы проявить себя какимъ либо образомъ.

Способъ изслѣдованiя въ естествознанiи, въ противоположность чисто мыслительной дѣятельности философiи, основывается существеннымъ образомъ на наблюденiи явленiй и на индукцiи; Бэконъ (Bacon) въ своемъ знаменитомъ сочиненiи „Novum organon scientiarum“ (London 1620) доказалъ, что индукцiя — единственно правильный прiемъ изслѣдованiя, какъ опытъ — единственный надежный источникъ знанiя. Когда два тѣла приводятся въ извѣстное соотношенiе другъ къ другу, то мы видимъ, что происходятъ при этомъ нѣкоторыя опредѣленныя явленiя или измѣненiя въ ихъ состоянiяхъ; мы заключаемъ тогда, что здѣсь вступаютъ въ дѣйствiе силы и мы стараемся такимъ образомъ объяснить явленiе. Иногда удается довольно легко установить для явленiй зависимость между наблюдавшимися дѣйствiями и ихъ причинами, но очень часто физическiя явленiя на столько сложны, что изъ однихъ наблюденныхъ фактовъ не оказывается возможности прямо найти яснаго, понятнаго соотвѣтствiя; тогда наблюденiе приходится дополнить нѣкоторыми допущенiями относительно свойствъ тѣлъ, соотвѣтственныхъ данному явленiю, но не поддающихся непосредственному наблюденiю. Такiя допущенiя не могутъ быть сдѣланы, разумѣется, совершенно произвольно, они должны быть основаны на нѣкоторомъ соотвѣтствiи между сходными наблюдавшимися фактами. Такимъ образомъ мы составляемъ себѣ нѣкоторыя, основанные на предположенiи, руководящiе принципы (гипотезы) относительно связи между отдѣльными явленiями; изъ нихъ затѣмъ выводятся слѣдствiя, которыя провѣряются съ опытными данными при самыхъ разнообразныхъ условiяхъ. Когда же, наконецъ, полное подтвержденiе результатовъ опытовъ не оставитъ никакого сомнѣнiя въ правильности гипотезы, тогда мы можемъ принять, что мы нашли нѣкоторую закономѣрность въ изученныхъ явленiяхъ природы, и можемъ назвать данную гипотезу закономъ природы.

Разумѣется, установленные такимъ образомъ законы, несмотря на всю тщательность наблюденiй и на всю осторожность при выводѣ слѣдствiй, не могутъ быть разсматриваемы какъ безусловно окончательные и какъ дѣйствительно неизмѣняемые вѣчные законы природы. Какъ много теорiй и законовъ, установленныхъ выдающимися людьми прежнихъ временъ, пришлось

отбросить, при дальнѣйшемъ, лучшемъ изученіи предмета, и замѣнить ихъ существенно отъ нихъ отличающимися воззрѣніями. Можно поставить вопросъ относительно и новѣйшихъ теорій, соотвѣтствующихъ нашимъ современнымъ воззрѣніямъ на природу, и которыя съ одной стороны посредствомъ эволюціонной теоріи связаны съ именемъ Дарвина, а съ другой стороны путемъ закона сохраненія энергіи и построенной на немъ механической теоріи теплоты примыкаютъ къ именамъ Майера, Джоуля, Гельмгольца, — окажутся ли онѣ послѣдними и единственно вѣрными? Кто можетъ это утверждать? Кто знаетъ, можетъ быть, даже еще теперь живущее поколѣніе будетъ приведено какими-нибудь выдающимися людьми къ совершенно другимъ взглядамъ на явленія природы, которые настолько всѣ будутъ отступать отъ нынѣ господствующихъ, какъ эти отъ старыхъ, уже покинутыхъ нами?

Но если наши воззрѣнія на законы природы и измѣнятся, зато полученные непосредственно изъ опыта выводы относительно закономѣрности явленій и дѣйствій никогда не потеряютъ своего значенія; они останутся во всякомъ случаѣ для насъ полезными въ практическомъ примѣненіи силъ природы. Производятъ ли свѣтъ, какъ это принималось старой теоріей истеченія, выбрасываемыя свѣтящимся тѣломъ невѣсомыя частицы или же, какъ по теоріи волненія, онъ вызывается колебаніями эѳира — такой переходъ отъ одного воззрѣнія къ другому, существенно отличающемуся отъ перваго, нисколько не повліялъ ни на технику освѣщенія, ни на способы приготовленія сферическихъ стеколъ и примѣненіе ихъ къ зрительнымъ трубамъ; и если бы новая теорія вытѣснила общепринятую теперь, то установленныя при господствѣ старой теоріи правила о закономѣрности свѣтовыхъ дѣйствій все-таки остались бы тѣми же самыми.

Такимъ образомъ, естествознаніе изучило большую область явленій природы въ ихъ взаимодѣйствіяхъ и систематизировало ихъ въ точно опредѣленныхъ законахъ. Зная же вполнѣ закономѣрность явленій, мы получаемъ вмѣстѣ съ тѣмъ возможность подчинить себѣ силы природы и заставить служить ихъ намъ на пользу; мы дѣлаемся до нѣкоторой степени обладателями природы: мы принуждаемъ ея силы, которыя мы не въ состояніи постигнуть, совершать для насъ работу точно предписаннымъ образомъ. „Настоящая наука" — говоритъ Робертъ Майеръ — „довольствуется положительнымъ знаніемъ и охотно предоставляетъ поэтамъ и натурфилософамъ пытаться разрѣшить вѣчную загадку помощью фантазіи".

Механика или ученіе о движеніи тѣлъ.

Предметъ механики. Развитіе ея въ древности и среднихъ вѣкахъ до настоящаго времени.

Въ вступленіи упомянуто, вообще, о цѣляхъ точныхъ наукъ и о путяхъ къ ихъ достиженію; посредствомъ наблюденія явленій мы стараемся познать ихъ закономѣрность и затѣмъ примѣнить съ пользою эти познанія. Силы природы составляютъ предметъ изслѣдованія чистыхъ наукъ; добытые ими результаты практикъ употребляетъ для полезнаго примѣненія силъ природы. Мы будемъ излагать тѣ отдѣлы точной науки, которые относятся къ явленіямъ, изучаемымъ собственно физикой, т. е., къ такимъ дѣйствіямъ силъ, при которыхъ составъ малѣйшихъ частицъ или молекулъ тѣла не измѣняется. Для объясненія и яснаго изложенія опытовъ, наблюденій и выводовъ изъ нихъ, служитъ механика—наука о движеніи тѣлъ. Ее раздѣляютъ на двѣ главныя части: статику и динамику. Задача статики или ученія о равновѣсіи тѣлъ состоитъ въ изысканіи условій, при которыхъ многія силы, дѣйствующія на тѣло, взаимно уравновѣшиваются. Динамика или ученіе о движеніи изучаетъ законъ движенія тѣла подъ вліяніемъ дѣйствующихъ на него силъ, не находящихся между собою въ равновѣсіи. Другое раздѣленіе исходитъ изъ агрегатнаго состоянія тѣлъ; при этомъ геостатика и геодинамика составляютъ механику твердыхъ тѣлъ или геомеханику; далѣе гидростатика и гидродинамика—гидромеханику или механику жидкихъ тѣлъ и, наконецъ, *аэростатика и аэродинамика—аэромеханику или механику газообразныхъ* тѣлъ. Въ теоретической механикѣ, чисто математическимъ путемъ, выводятся законы о равновѣсіи и движеніи тѣлъ, тогда какъ прикладная механика примѣняетъ механическіе законы къ машинамъ и строительнымъ работамъ. Основаніе научной механики образуютъ немногіе основные законы, опирающіеся на опыты и наблюденія, такъ называемые принципы механики, которыми мы займемся позже.

Развитіе механики находится въ тѣсной связи съ развитіемъ физики, поэтому, насколько физика имѣетъ значеніе для механики, она должна вкратцѣ быть принята во вниманіе.

На практикѣ примѣненіе механики было еще въ глубокой древности у культурныхъ народовъ. Египтяне имѣли уже значительныя практическія знаніе во этой наукѣ; способы добыванія и подъема огромныхъ грузовъ, съ какими имъ приходилось имѣть дѣло для своихъ величественныхъ построекъ, остатки которыхъ еще теперь возбуждаютъ въ насъ удивленіе, были для тѣхъ временъ необычайными. Они знали подъемную машину и многое другое. Вавилоняне и египтяне обладали вполнѣ выработанной системой мѣры вѣсовъ, которая распространилась потомъ по всему свѣту и, тѣмъ са-

мымъ предоставила удобства для міровыхъ сношеній, которыхъ мы и теперь продолжаемъ добиваться. Такъ же и время у нихъ было раздѣлено очень точнымъ образомъ на томъ же основаніи, которое мы имѣемъ и теперь. Какъ наука, механика образовалась гораздо позже.

При всей своей высоко развитой культурѣ, греки, пріобрѣвшіе свои знанія частью отъ вышеназванныхъ народовъ и болѣе выдающіеся люди которыхъ получали или пополняли свои научныя образованія въ Египтѣ, обнаруживали малую наклонность къ естествознанію, въ нашемъ обычномъ смыслѣ; они больше интересовались образовательными науками, политикой, народнымъ хозяйствомъ и въ особенности философіей. Физика и механика у нихъ *составляли одинъ изъ отдѣловъ этихъ наукъ и разсматривались, главнымъ* образомъ, чисто спекулятивно. Но такъ какъ физика и механика, какъ и вообще естествознаніе, основаны на наблюденіи и опытѣ и должны быть изучаемы преимущественно эмпирически, то греческая философія природы скорѣе препятствовала, чѣмъ содѣйствовала познанію законовъ природы вообще, и въ особенности развитію физики и механики. Изъ немногихъ выдающихся людей, которые, между прочимъ, занимались рѣшеніемъ физическихъ и механическихъ вопросовъ, можно назвать агригентиица Эмпедокла; онъ установилъ около 460 г. до Р. Х. ученіе, заимствованное имъ частью съ востока, о неизмѣнныхъ и вѣчныхъ четырехъ основныхъ веществахъ — земли, воды, воздуха и огня, которыя долгое время занимали главное мѣсто въ естествознаніи, какъ „четыре элемента"; ими были обусловленны посредствомъ притягательныхъ и отталкивательныхъ силъ „всепроницающей любви" соедниненія и разъединенія, а также изъ нихъ должны были составляться всѣ тѣла. Напротивъ, у Демокрита изъ Абдеры (470—362 г. до Р. Х.) и Анаксагора (500—428 г.) мы находимъ уже зародыши тѣхъ представленій, которыя и теперь лежатъ въ основѣ нашей теоріи. Они учили, что количество всего существующаго неизмѣнно и только явленія или формы измѣняются; кромѣ того, они разсматривали тѣла, какъ составленныя изъ самыхъ малыхъ частицъ, атомовъ, которыя составляютъ первоначало, сущность и которыя, по мнѣнію Демокрита, однородны по существу и образуютъ различныя тѣла только своимъ особеннымъ распредѣленіемъ, величиной и формой. Такъ что мы уже здѣсь имѣемъ ученіе о неразрушимости веществъ. Позднѣе, однако, философія все болѣе и болѣе отклонялась отъ пути точнаго естествознанія. Наблюденіямъ стали придавать меньшее значеніе; изъ какой-нибудь счастливой идеи создавались остроумныя новыя системы чисто діалектическимъ путемъ. Великій философъ Платонъ установилъ представленіе о составленномъ его учителемъ Сократомъ понятіи о вещи самой въ себѣ, какъ единственно и дѣйствительно существующемъ; онъ былъ, такимъ образомъ, основателемъ философскихъ воззрѣній, которыя мы уже изложили въ веденіи и которыя были причиною, до сихъ поръ продолжающагося раздада между философіей и естествознаніемъ. Наибольшее вліяніе на развитіе естествознанія имѣлъ Аристотель (384—322). Онъ былъ основателемъ одной философской школы, которая господствовала въ теченіе двухъ тысячелѣтій и которая въ средніе вѣка, въ соединеніи съ церковной догматикой, еще долго, въ качествѣ схоластики, задерживала расцвѣтъ истиннаго естествознанія въ современномъ смыслѣ слова. Самому Аристотелю удалось много сдѣлать въ естественныхъ наукахъ путемъ эмпирическихъ изысканій; однако, центръ тяжести его изысканій лежалъ все таки въ спекулятивно - философскомъ объясненіи явленій природы. Такимъ образомъ, въ попыткахъ объяснить явленія, онъ приходитъ только къ темнымъ отвлеченнымъ понятіямъ; несмотря на это, ученія его имѣли значеніе еще въ среднихъ вѣкахъ, какъ неопровержимыя основанія естествознанія. Въ классической древности имѣлось большое число натуръ-философ-

скихъ системъ, но не одного яснаго физическаго понятія или выработанной теоріи.

Послѣ смерти Аристотеля и вслѣдъ за покореніемъ Александромъ Греціи, съ концомъ развитія чисто философскихъ наукъ, начинается возвышеніе наукъ естественныхъ, причемъ послѣдователи великаго философа обращались къ отдѣльнымъ изысканіямъ и примѣняли наблюденіе и опытъ; тогда пріобрѣло общее значеніе выраженіе Евдокса, что въ области изученія природы, опыты составляютъ единственный источникъ знаній. Настоящимъ основателемъ механики былъ Архимедъ изъ Сиракузъ (287—212 г.)—одинъ изъ величайшихъ математиковъ и изобрѣтателей. Онъ развилъ, между прочимъ, теорію простыхъ машинъ (о которыхъ еще придется говорить дальше) и ученіе о центрѣ тяжести, а также открылъ давленіе въ жидкостяхъ и умѣлъ свои теоріи прилагать на практикѣ; его современники приписывали ему сорокъ новыхъ открытій, большинство которыхъ, однако, оставалось имъ непонятнымъ.

Архимедъ имѣлъ уже ясное представленіе о механическихъ явленіяхъ и дѣйствіяхъ силъ; несмотря на эти сдѣланные первые шаги къ настоящему естествознанію, не находилось, почти въ теченіе двухъ тысячъ лѣтъ, ни одного послѣдователя, который бы надлежащимъ образомъ двинулъ впередъ эту методу. Тогда всѣ строго придерживались неопредѣленныхъ представленій Аристотеля, что причина покоя и движенія заключается въ самихъ тѣлахъ; никому не являлась мысль, что силы составляютъ причину движенія.

Во времена Архимеда въ Александріи была основана богатая библіотека, Александрійскій музей, который въ продолженіе многихъ вѣковъ служилъ главнымъ научнымъ центромъ; этотъ музей находился въ полномъ расцвѣтѣ за 100 лѣтъ до Р. Х. и позже. Между александрійскими учеными пріобрѣли особую извѣстность, какъ механики: Ктезибій и его ученикъ Геронъ (около 100 л. до Р. Х.). Послѣдній сводилъ всѣ механическія приспособленія къ законамъ рычага и построилъ различныя сложныя машины, состоящія изъ рычаговъ и зубчатыхъ колесъ; и теперь еще упоминается вездѣ о героновомъ фонтанѣ. Послѣднимъ изъ выдающихся ученыхъ былъ Птоломей, который оставилъ послѣ себя, кромѣ значительныхъ астрономическихъ и географическихъ трудовъ, также и работы по физикѣ.

Птоломеемъ заканчивается рядъ греческихъ ученыхъ, которые оставили намъ важныя естественно-историческія работы. Дальнѣйшее развитіе физики и механики почти всецѣло покоилось на нихъ до самаго конца 16-го вѣка. Римляне, вообще обязанные грекамъ своей высокой культурой, переняли отъ нихъ также и ученія о природѣ; эту область знаній сами они не двинули сколько-нибудь впередъ; въ особенности нельзя найти почти ни одного самостоятельнаго изслѣдованія по физикѣ и механикѣ. Напротивъ, многіе римскіе писатели оказали свою услугу естествознанію тѣмъ, что они излагали подробнымъ образомъ современныя имъ знанія и въ особенности содержаніе прежнихъ греческихъ ученій о природѣ. Здѣсь прежде всего нужно упомянуть о современникѣ Августа—Люкреціи, который за нѣсколько десятковъ лѣтъ до Р. Х. изложилъ въ прекрасной формѣ ученіе Демокрита и Эпикура. Затѣмъ упомянемъ о Пливіѣ старшемъ, написавшемъ большое число весьма содержательныхъ и важныхъ сочиненій; онъ былъ жертвой своей любознательности и погибъ во время наблюденія изверженія Везувія въ 79 году. Въ учебномъ стихотвореніи Лукреція („De rerum natura"), „О природѣ вещей" находится слѣдующее мѣсто:

„Поэтому и движеніе, въ которомъ находится вещество теперь,
Существовало всегда и раньше
И будетъ такъ же существовать и впредь.

Никакая сила не въ состояніи измѣнить общаго количества вещества.
Гдѣ бы могло находиться то мѣсто, куда бы могла отлетѣть изъ вселенной
Хотя бы одна только частичка вещества?
Гдѣ бы могла образоваться новая сила,
Которая проникла бы во вселенную
И измѣнила бы заключающееся въ ней вещество и его движеніе?"

Итакъ Лукрецій принималъ кромѣ неизмѣняемости матеріи также и неуничтожаемость движенія; это предположеніе могло быть, впрочемъ, однимъ только туманнымъ предчувствіемъ. Но оно далеко не составляетъ яснаго понятія или формулировки данной мысли въ видѣ закона и такой формулировки никто не достигъ въ теченіе почти двухъ тысячелѣтій.

Съ паденіемъ греческой культуры и римскаго всемірнаго господства, со временемъ переворота, внесеннаго великимъ переселеніемъ народовъ, рушились и всѣ науки; въ особенности физическія и механическія знанія были совсѣмъ позабыты. Только въ средніе вѣка возобновились опять излѣдованія природы и преимущественно у нѣмцевъ. За этотъ же промежутокъ сравнительно недолгое время культура процвѣтала у арабовъ, которые, вскорѣ послѣ завоеванія Александріи, приспособили къ своей жизни древнія высокія культурныя пріобрѣтенія грековъ и римлянъ. Отъ арабовъ заимствовала частью вновь развивающаяся нѣмецкая наука классическую греческую литературу, главнымъ образомъ сочиненія Аристотеля, хотя и не къ выгодѣ естествознанія; это потому, что они послужили образованію въ то время косной системы схоластической философіи, которая вскорѣ исключила всякія попытки изслѣдованія, могущія ей противорѣчить. Схоластика находилась въ полной зависимости по отношенію къ способамъ мышленія и изложенія всѣхъ вопросовъ и задачъ, какъ философскихъ, такъ и чисто научныхъ, отъ двойного авторитета—ученія церкви и ученія Аристотеля. Она выработала лишь хитроумную пустую діалектику, вмѣсто того, чтобы вызвать новыя мысли, или описывать новые пути къ знанію или, по крайней мѣрѣ, искать ихъ. Подъ духовнымъ давленіемъ этой тираніи не только были заброшены собственныя изслѣдованія, но и утрачено пониманіе уцѣлѣвшихъ еще съ древности истинъ, касающихся природы. Нетерпимость схоластическаго ученія зашла такъ далеко, что даже опасно было производить какія либо изслѣдованія внѣ прочно замкнутаго круга ея системы; такъ какъ церковь въ теченіе нѣкотораго времени все больше и больше сближалась съ этимъ ученіемъ, то изслѣдователь долженъ былъ бояться быть признаннымъ за еретика и предстать передъ инквизиціей за свое ученіе, выдѣляющееся изъ общаго круга. Многочисленные университеты, основанные въ 13 и 14 вѣкахъ въ Италіи, Франціи и Германіи, не могли взорвать тѣхъ скалъ, которыя были воздвигнуты схоластикой и загромождали путь къ свободному изслѣдованію, потому что учителя въ нихъ принадлежали почти безъ исключенія къ монашескимъ орденамъ и обучали своихъ учениковъ только въ схоластическомъ направленіи. Но, несмотря на все это, естественныя науки не допустили держать себя долго въ такомъ приниженномъ состояніи. Нѣкоторое время онѣ бродили еще по окольнымъ дорогамъ, съ неопредѣленными мистическими попытками объясненія, которыя унаслѣдованы были отъ греческой философіи природы. Въ то время принимали для объясненія явленій сверхъестественныя силы, скрытыя тайныя качества тѣлъ, допускали въ нихъ пребываніе какихъ то особыхъ одухотворенныхъ существъ. Въ этой безнадежной для естествознанія эпохѣ, выдѣляются нѣкоторые значительные ученые, о которыхъ слѣдуетъ упомянуть. Іоганъ Мюллеръ, который, по мѣсту своего рожденія въ Кенигсбергѣ, прозванъ былъ Регіомонтанусомъ и подъ этимъ именемъ былъ извѣстенъ. Въ 15 вѣкѣ онъ изобрѣлъ десятичную систему счисленія, устроилъ параболическія зажигательныя зеркала, замѣтилъ наклонность эклиптики и своими изслѣдованіями оказалъ больное вліяніе на Коперника. Онъ былъ

вызванъ при папѣ Сикстѣ IV въ Римъ, чтобы провести предложенную кардиналомъ Николаемъ де Куза реформу Юліанскаго календаря. Упомянутый видный представитель церкви и ученый переступилъ кругъ схоластическаго ученія; онъ возсталъ противъ господствовавшаго въ то время положенія Аристотеля о неподвижности земли и принялъ вращеніе земли вокругъ своей оси, хотя и исходилъ изъ невѣрнаго предположенія своего ученія о движеніи. Онъ замѣтилъ, что постановленіе Никейскаго собора въ 325 году, по которому весеннее равноденствіе принято было 21-го марта, не соотвѣтствовало господствовавшему тогда Юліанскому календарю. Приведеніе *въ исполненіе задуманной реформы календаря не состоялось, по случаю* внезапной смерти Регіомонтануса. Въ свое время особенно выдавался, какъ живописецъ и ваятель, Леонардо-Да-Винчи (1452—1519), который какъ физикъ, нынѣ общепризнанный, тогда былъ мало извѣстенъ. Его научныя работы не были, къ сожалѣнію, оцѣнены современниками, иначе онѣ содѣйствовали бы развитію тогда физики въ совершенно другомъ направленіи. Его научныя пріобрѣтенія были позже еще разъ вновь открыты Галилеемъ, такъ мало онѣ обратили на себя вниманія. Его *мнѣніе о дѣйствіи машинъ и* до сихъ поръ, съ нѣкоторыми ограниченіями, сохранили свое значеніе: онъ съ успѣхомъ изслѣдовалъ треніе, условіе равновѣсія жидкостей въ сообщающихся сосудахъ, капиллярность и устроилъ нѣкоторыя остроумныя машины. Только черезъ сто лѣтъ наука дошла опять до той точки развитія, которой достигъ Леонардо.



1. Іоганъ Мюллеръ изъ Кенигсберга, прозванный Регіомонтанусомъ.

Въ серединѣ 16-го столѣтія (1543 г.) появился замѣчательный трудъ Коперника, послѣ долгой нерѣшительности автора его обнародовать, такъ какъ его новое ученіе о движеніи тѣлъ, въ которомъ не вся міровая система вращается около земли, но она сама, какъ и всѣ планеты, движется вокругъ солнца, находилась въ рѣзкомъ противорѣчіи съ старыми воззрѣніями, считавшимися неприкосновенными. Правда, трудъ этотъ вначалѣ не былъ вполнѣ оцѣненъ, *но, тѣмъ не менѣе, привелъ въ концѣ концовъ къ разрушенію всего* ученія Аристотеля и схоластическихъ наукъ. Замѣтному шагу впередъ, въ ученіи о движеніи, способствовали работы математика Бенедетти, при дворѣ герцога Савойскаго, который впервые объяснилъ движеніе посредствомъ непрерывно дѣйствующихъ причинъ, и установилъ законъ, по которому движущееся тѣло стремится двигаться по прямой линіи; такимъ образомъ, онъ разрушалъ старое воззрѣніе, что круговое движеніе есть первоначальное и естественное, которое до тѣхъ поръ лежало основой въ философіи природы и астрономіи.

Въ исходѣ 16-го вѣка начинается величайшимъ итальянскимъ естествоиспытателемъ Галилеемъ новая эпоха, въ которой наступаетъ точное и

надежное развитіе въ области физики и механики на основаніи точныхъ наблюденій и вытекающихъ изъ нихъ ясныхъ заключеній, вмѣсто прежнихъ неопредѣленныхъ понятій. Галилей изучалъ въ университетѣ въ городѣ Пизѣ математику и естественныя науки, послѣднія, конечно, въ духѣ Аристотеля; но это ученіе не могло его удовлетворить и онъ скоро пришелъ къ противоположнымъ выводамъ. Онъ сдѣлался профессоромъ падуанскаго университета, гдѣ занимался въ продолженіе 18-ти лѣтъ; это было время наиболѣе важной плодотворной творческой дѣятельности; заслуги его были признаны всѣми и онъ сдѣлался скоро знаменитымъ. Галилей переработалъ доставшійся ему отъ его предшественниковъ матеріалъ съ новой точки зрѣнія и пришелъ, такимъ путемъ, къ своему новому ученію, которое въ самомъ началѣ встрѣтило со всѣхъ сторонъ нападки. Но и онъ также не могъ вполнѣ отрѣшиться отъ схоластическихъ идей; въ его твореніяхъ часто встрѣчается старое вмѣстѣ съ новымъ и не всѣ его выводы безупречны. Онъ пришелъ въ своихъ наиболѣе раннихъ работахъ къ законамъ инерціи, исходя изъ изслѣдованій Бенедетти, но онъ не выяснилъ еще его полнаго распространенія и примѣняемости къ каждому роду движенія; онъ создалъ новую точную науку — динамику. Въ своихъ работахъ о движеніи падающихъ и брошенныхъ тѣлъ пришелъ онъ къ весьма важному закону о параллелограммѣ силъ. Затѣмъ онъ открылъ законы качанія маятника и устроилъ первые часы съ маятникомъ; онъ изобрѣлъ зрительную трубу (хотя исторія этого изобрѣтенія осталась не совсѣмъ выясненной; кажется, что Галилей не былъ первымъ или единственнымъ ея изобрѣтателемъ), и сдѣлалъ съ помощью ея много астрономическихъ открытій, которыя всѣ подтвердили справедливость системы Коперника, такъ что Галилей выступилъ защитникомъ этой системы и старался ее распространить. Но вслѣдствіе этого ему пришлось вступить въ сильную борьбу съ схоластическимъ ученіемъ, съ іезуитами и съ священной римской конгрегаціей. Послѣ того какъ онъ достигъ славы и высокаго почета и завоевалъ себѣ благоволеніе высокопоставленныхъ церковныхъ дѣятелей, онъ, семидесятилѣтній старецъ, несмотря на все это, былъ призванъ въ инквизиціонный судъ и долженъ былъ, чтобы не подвергнуться угрожавшему ему преслѣдованію, рѣшиться хотя не

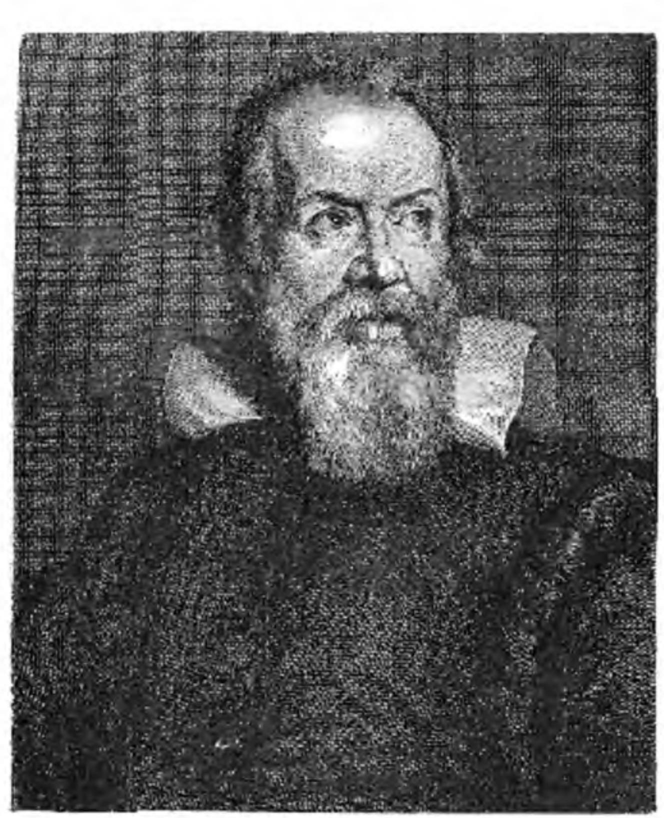


2. Николай Коперникъ.

виду покориться и отречься отъ своего ученія. Вскорѣ послѣ этого онъ потерялъ зрѣніе и черезъ нѣсколько лѣтъ умеръ (въ 1642 г.).

Рядомъ съ Галилеемъ выдавался въ то же время однородный съ нимъ по уму Іоганнъ Кеплеръ (родился въ 1571 году въ городѣ Вейлѣ въ Вюртембергѣ; умеръ въ 1630 году), который производилъ научныя изслѣдованія по пути и методу Галилея и преимущественно въ области механики, астрономіи и оптики. Незабвенную заслугу его составляетъ открытіе законовъ движенія планетъ.

Затѣмъ слѣдуетъ упомянуть объ Е. Торичелли (Evangelista Torricelli, родился въ 1608 году, умеръ въ 1647 году во Флоренціи); этотъ итальянскій ученый установилъ законы истеченія жидкостей изъ сосудовъ, изобрѣлъ въ 1643 г. барометръ и замѣтилъ его неправильное колебаніе; кромѣ того, онъ устроилъ простой микроскопъ и усовершенствовалъ зрительную трубу.


3. Галилей.

Галилей былъ одинъ изъ немногихъ всеобъемлющихъ геніевъ, которые владѣли всею областью естествознанія; таковымъ въ наше время могъ считаться только Гумбольдтъ. Галилей разработалъ для своихъ потомковъ способы изслѣдованія въ самыхъ различныхъ направленіяхъ и открылъ новые пути. Но не нашелся ни одинъ изъ его послѣдователей, который былъ бы въ состояніи продолжить его труды во всей его цѣлости; многіе ученые взялись за ихъ продолженіе, но въ отдѣльности и по частямъ; изъ нихъ въ особенности Декартъ (René Descartes — Cartesius) занялся разработкой математической стороны различныхъ вопросовъ физики или собственно механики; о важнѣйшихъ открытіяхъ другихъ ученыхъ будетъ упомянуто въ дальнѣйшихъ соотвѣтствующихъ главахъ сочиненія.

Слѣдующій періодъ развитія физики и механики ознаменованъ тремя именами: Гюйгенса, Ньютона и Лейбница, дѣянія которыхъ, взятыя вмѣстѣ, могутъ быть поставлены наравнѣ съ трудами Галилея. Они собственно положили начало современной физики и механики, построенныхъ почти всецѣло на ихъ работахъ; ихъ великія творенія увѣнчались въ наше время закономъ сохраненія энергіи и механической теоріей теплоты. Ихъ открытія и изобрѣтенія, какъ и позднѣйшія имѣютъ не только историческій интересъ, но и составляютъ существенныя составныя части нашей совре-

менной механики; о нихъ будетъ подробнѣе сказано въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ слѣдующаго отдѣла.

Основныя понятія механики.

Пространство, время, движеніе. Матерія и ея свойства; непроницаемость; дѣлимость; пористость; фильтръ; сцѣпленіе; твердость и упругость; прилипаніе. Агрегатное состояніе. Инерція и сила; тяжесть и масса. Энергія; работа; работоспособность. Законъ сохраненія энергіи. Perpetuum mobile. Соединеніе и разложеніе силъ.

Понятіе о пространствѣ, повидимому столь простое, какъ-бы само по себѣ очевидное, при болѣе глубокомъ изслѣдованіи оказывается, напротивъ, крайне труднымъ; ближайшее его опредѣленіе до сихъ поръ принадлежитъ къ числу неразрѣшенныхъ и вѣроятно неразрѣшимыхъ метафизическихъ вопросовъ. Яснаго и достаточнаго объясненія понятія о пространствѣ не имѣется ни въ смыслѣ физическомъ, ни механическомъ; такое объясненіе, впрочемъ, и излишне, такъ какъ пространство составляетъ общую форму нашего представленія о вещественномъ мірѣ и въ практическомъ смыслѣ оно дѣйствительно само по себѣ понятно. (Въ философіи Канта пространство и время составляютъ понятія à priori, т. е. такія понятія, которыя прирождены человѣческому уму, а не пріобрѣтаются имъ путемъ опыта). Механика и ея вспомогательная наука геометрія, т. е., ученіе объ измѣреніи пространства, принимаютъ пространство трехъ измѣреній со свойствомъ безконечности, какъ понятіе уже данное. Хотя безконечность пространства и оспаривалась нѣкоторыми философами, но простое разсужденіе можетъ показать его несомнѣнность; если пространство не безконечно, то должно гдѣ нибудь имѣть границу, какъ бы оно не было велико; что-же тогда будетъ за этой границей? Что такое *ничто*? Ничто не можетъ быть, мы себѣ его не можемъ представить; значитъ, и тамъ есть пространство и, значитъ оно безконечно. Такъ же само собой понятно, что пространство имѣетъ три измѣренія, т. е., что всѣ направленія его сводятся къ тремъ главнымъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ — длинѣ, ширинѣ и толщинѣ, (или вышинѣ или глубинѣ).

Для измѣренія пространственныхъ величинъ служатъ пространственныя единицы измѣренія, причемъ, какъ и при всякомъ измѣреніи, данную величину пространства сравниваютъ съ другой извѣстной величиной такого же рода, которая и называется *единицей мѣры*. Главное измѣреніе пространства есть измѣреніе длины. Помощью единицы длины измѣряютъ прямо длину нѣкотораго направленія. При соединенномъ измѣреніи длины двухъ и трехъ направленій получается измѣреніе площадей и тѣлъ. Старѣйшими единицами для измѣренія длины принимались части человѣческаго тѣла; но уже при самомъ началѣ развитія промышленныхъ дѣятельностей и сношеній явилась потребность въ постоянныхъ, неизмѣнныхъ единицахъ мѣръ. Ими могли быть только какія-нибудь неизмѣнныя величины природы; представились, однако, большія затрудненія и въ пріисканіи такихъ величинъ, и въ точномъ ихъ опредѣленіи. Нѣмецкая географическая миля составляла пятнадцатую часть длины градуса экватора, но только въ новѣйшее время мы пріобрѣли въ метрической системѣ мѣръ, взятую опять изъ природы, неизмѣняемую и точно опредѣленную единицу длины. Въ 1791 г. составленная парижской академіей наукъ комиссія предложила считать за единицу длины десяти-милліонную часть четверти земного меридіана (т. е., разстояніе отъ полюса до экватора). Это было принято; мѣра эта была опредѣлена прямымъ путемъ посредствомъ весьма тщательныхъ и обширныхъ измѣреній и, названная метромъ, служитъ и теперь единицей такъ называемой метрической

системой мѣръ. Дальнѣйшія подробности о способахъ измѣреній и объ единицахъ мѣръ, также какъ и объ историческомъ развитіи ихъ, сообщены въ *начальной главѣ второго отдѣла этого тома: „Мѣры и измѣренія"*.

Какъ пространство смежно съ веществомъ, такъ время стоитъ рядомъ съ перемѣщеніемъ. Время связано съ понятіемъ о движеніи: безъ него оно не имѣло бы значенія, какъ объ этомъ уже говорилось въ введеніи. Аристотель называлъ время мѣрою движенія во вселенной.

Для наблюденія всѣхъ явленій движенія необходимы одновременно измѣренія времени; но такъ какъ время понятіе отвлеченное, неподдающееся непосредственному наблюденію и измѣренію, то мы должны свести его измѣреніе, *т. е., сравненіе промежутковъ времени, къ движенію тѣлъ*. *Для полученія* мѣры времени, т. е. удобоопредѣляемой и удобовозобновляемой единицы времени, намъ необходимо тѣло, обладающее движеніемъ, которое черезъ равные промежутки времени съ точностью повторяется. Уже въ глубокой древности существовала потребность въ системѣ времясчисленія. Въ основу перваго счисленія времени было положено единственное въ то время извѣстное равномѣрное движеніе, и именно видимое движеніе небесныхъ свѣтилъ, въ особенности солнца и луны вокругъ земли; на этомъ же движеніи теперь *основано* и *наше времясчисленіе*. *Вавилоняне и египтяне считали день съ* восхода до заката солнца и дѣлили день и ночь на 12 часовъ. Смотря по времени года денные и ночные часы имѣли неодинаковую продолжительность. Годъ они опредѣляли также по солнцу, и имъ были уже извѣстны періоды въ 19 солнечныхъ лѣтъ, которые совпадаютъ почти вполнѣ съ 235 лунными обращеніями. Гражданскій день начинался у вавилонянъ съ восходомъ солнца; у евреевъ-же, древнихъ аѳинянъ, персовъ, а также и у китайцевъ, напротивъ, онъ начинается съ солнечнаго заката.

Для раздѣленія дня на небольшія части, въ чемъ была потребность самой жизни, не хватало непосредственнаго внѣшняго побужденія; почему именно взято для счета часовъ раздѣленіе на 12 и 24 части, это не такъ легко объяснить, потому что съ давнихъ временъ весь нашъ способъ счисленія имѣетъ въ основаніи число 10. Доказано, что это раздѣленіе на часы весьма древнее и перешло отъ вавилонянъ къ египтянамъ и грекамъ, а отъ нихъ распространилось у римлянъ и во всѣхъ западныхъ культурныхъ странахъ. Для измѣренія небольшихъ промежутковъ времени, были изобрѣтены солнечные, *водяные и песочные* часы; *первые изъ нихъ примѣнялись повсюду* очень долгое время, а послѣдніе употребляются и по нынѣ для особенныхъ цѣлей (напримѣръ, для варки яицъ). Принципъ устройства солнечныхъ часовъ заключается въ томъ, что тонкій стержень, поставленный въ серединѣ круга, раздѣленнаго на надлежащія части, показываетъ своей тѣнью при движеніи солнца соотвѣтствующій часъ.

Также наше теперешнее измѣреніе времени основано на обращеніи земли вокругъ своей оси и вокругъ солнца. Промежутокъ времени между двумя *кульминаціями (наивысшее положеніе солнца,* въ *полдень), составляетъ солнечныя* сутки, а время одного оборота земли вокругъ солнца — годъ. Отъ раздѣленія дня отъ солнечнаго восхода до заката на двѣнадцать часовъ, дало само собой позднѣйшее раздѣленіе сутокъ отъ одного восхода солнца до другого на 24 часа и посредствомъ болѣе точныхъ времяизмѣрительныхъ приборовъ (часовъ, хронометровъ) оказалось возможнымъ раздѣлить ихъ на 24 равныхъ промежутка, независимо отъ продолжительности дня и ночи[1].

---

[1] Въ новѣйшее время дѣлалось не мало попытокъ ввести счетъ прямо отъ 1 до 24, вмѣсто двойного счета отъ 1 до 12; это имѣетъ, безъ сомнѣнія, нѣкоторое удобство въ томъ отношеніи, что такимъ образомъ избѣгается неопредѣленность, относится ли обозначаемое время къ дню или къ ночи. Въ астрономіи такой счетъ часовъ отъ 1 до 24 уже вообще примѣняется, причемъ за начало его берется полдень; на желѣз-

Потребность въ счисленіи болѣе мелкихъ промежутковъ времени вызвала раздѣленіе часа на минуты и секунды. Болѣе точнымъ образомъ оказалось возможнымъ измѣрять время только послѣ изобрѣтенія Гюйгенсомъ 1656 года часовъ съ маятникомъ, которые будутъ описаны дальше. Для измѣренія времени на практикѣ служатъ теперь только такіе часы съ маятникомъ, а также пружинные часы; другого-же рода часы, какъ солнечные, водяные и песочные, въ механикѣ не разсматриваются. Часы съ особенно точнымъ ходомъ, которые могутъ быть примѣнены и къ измѣренію малыхъ промежутковъ времени, называются хроноскопами, хронометрами или хронографами. Въ послѣднее время эти приборы настолько были усовершенствованы, что при помощи хроноскопа оказалось возможнымъ измѣрять для научныхъ цѣлей до $^1/_{10000}$ секунды. Дальнѣйшія подробности о приборахъ для измѣренія времени находятся въ первой главѣ второго отдѣла этого тома. Измѣреніе промежутковъ времени посредствомъ обыкновенныхъ часовъ недостаточно для точнаго опредѣленія времени; необходимо бываетъ также часто устанавливать абсолютное время, т. е., время въ нѣкоторый опредѣленный моментъ. Показанія всякихъ часовъ, даже самыхъ точныхъ, должны въ этомъ отношеніи подвергаться частой и правильной повѣркѣ, такъ какъ абсолютно вѣрнаго хода даже лучшихъ часовъ, первоначально установленныхъ правильнымъ образомъ, нѣтъ возможности добиться, въ особенности на сколько-нибудь продолжительное время. Для этой цѣли во многихъ мѣстахъ, преимущественно въ обсерваторіяхъ, правильнымъ образомъ, ежедневно устанавливается истинный полдень посредствомъ астрономическихъ наблюденій. Во многихъ городахъ, въ особенности въ главнѣйшихъ гаваняхъ, устраиваются приспособленія, состоящія въ томъ, что на видныхъ мѣстахъ ровно въ полдень заставляютъ опуститься особый шаръ или производятъ пушечный выстрѣлъ; такимъ образомъ можно провѣрять часы.

Такъ называемый этрускій годъ у римлянъ заключалъ въ себѣ 10 мѣсяцевъ или 304 дня; по преданію Нума Помпилій ввелъ новый календарь, въ которомъ годъ раздѣлялся на 12 мѣсяцевъ или 355 дней. Но такъ какъ этотъ годъ далеко не совпадалъ съ истиннымъ годомъ, то время отъ времени вводился добавочный тринадцатый мѣсяцъ. Первый, довольно точно исчисленный, обще-признанный календарь — **Юліанскій**, который былъ введенъ Юліемъ Цезаремъ въ 46 г. до Р. Х. По этому календарю годъ имѣлъ 365 дней; чтобы сглаживать накопляющуюся разницу между этимъ временемъ и дѣйствительнымъ временемъ оборота земли вокругъ солнца (тогда, впрочемъ, имѣли объ этомъ противоположное представленіе), каждому четвертому году прибавлялся одинъ день и онъ назывался високоснымъ. Но такимъ образомъ въ каждые четыре года наросталъ излишекъ въ 44 минуты и 56 секундъ, или почти въ $^3/_4$ часа; это круглымъ числомъ составляетъ въ 130 лѣтъ одинъ день, ошибка, которая съ вѣками становится все больше и больше. На это обратили вниманіе въ 15 ст., но задуманная папой Сикстомъ IV реформа календаря, не могла быть приведена въ исполненіе, по случаю смерти вызваннаго для этого дѣла Регіомонтануса. Только спустя 100 лѣтъ профессоръ математики Рейнгольдъ въ Виттенбергѣ вычислилъ по порученію прусскаго герцога Альбрехта астрономическія таблицы времени. Эти таблицы легли въ основу, исполненной папой Григоріемъ XIII въ 1582 г., новой ре-

ныхъ дорогахъ въ Британской Индіи раздѣленіе сутокъ на 24 часа введено уже болѣе 30 лѣтъ тому назадъ, а въ долинѣ Ганга оно примѣняется также и въ гражданской жизни. Въ Европѣ новое времясчисленіе уже давно введено въ телеграфной службѣ, а съ 1893 г., также и въ желѣзнодорожной (въ Бельгіи съ 1897 г.). Въ нашей обыденной жизни эта система не скоро навѣрно будетъ введена; хотя преимущество нашего общепринятаго дѣленія только и состоитъ въ ея древности (около 4000 лѣтъ), но и удобства новой системы уже не настолько велики, чтобы стоило добиваться ея всеобщаго введенія.

формы календаря; при этомъ отпадаютъ въ каждые четыреста лѣтъ три високосныхъ года; папа повелѣлъ ввести новый календарь во всѣхъ христіанскихъ государствахъ и чтобы устранить ошибку, накопившуюся впродолженіи столѣтій, вслѣдствіе несовершенства Юліанскаго календаря, онъ приказалъ исключить нѣсколько дней съ 5-го по 14-е октября того года. Многіе протестанскіе князья долгое время не соглашались принять постановленіе папы; только столѣтіемъ позже грегоріанскій календарь былъ введенъ въ 1700 г. во всей Германіи, благодаря стараніямъ знаменитаго математика Лейбница. Въ Англіи новый календарь введенъ еще позже, между тѣмъ какъ въ Россіи и въ христіанскихъ государствахъ Балканскаго полуострова старый Юліанскій календарь еще и теперь въ силѣ, почему въ этихъ послѣднихъ странахъ, въ которыхъ *ошибка не была исправлена, какъ это было сдѣлано* въ *Грегоріанскомъ* календарѣ, времясчисленіе отстаетъ теперь уже на 13 дней. Обыкновенно числа мѣсяца сопровождаются обозначеніемъ (ст. ст.) или (н. ст.), т. е. старый или новый стиль, чтобы показать, что данное число относится къ русскому Юліанскому, или къ новому Грегоріанскому календарю.

Въ механикѣ и техникѣ для движенія и скоростей вообще единицею времени считается секунда; въ нѣкоторыхъ же частныхъ случаяхъ, какъ напр. для скоростей желѣзнодорожныхъ поѣздовъ и кораблей, принимается за единицу времени часъ; только при вращательныхъ движеніяхъ числа оборотовъ относятся обыкновенно къ минутѣ.

Движеніе состоитъ въ перемѣщеніи тѣлъ. Путь, пройденный тѣломъ, называется траекторіей движенія; она можетъ быть прямой или кривой линіей, поэтому движенія раздѣляются на прямолинейныя и на криволинейныя. Если въ равные малые промежутки времени тѣло проходитъ одинаковыя по длинѣ части пути, то движеніе называется равномѣрнымъ, когда же пространства, проходимыя тѣломъ въ равные промежутки времени, не одинаковы между собой, то движеніе неравномѣрно. Въ послѣднемъ случаѣ различаютъ еще ускорительное и замедлительное движеніе; въ первомъ движеніи, въ послѣдовательные равные малые промежутки времени проходимые тѣломъ пути становятся все длиннѣе и длиннѣе, во второмъ же, напротивъ, все короче. Смотря по тому, будутъ ли приращенія или убыли пространствъ, проходимыхъ тѣломъ въ одинаковые промежутки времени, одинаковы или не одинаковы, получается движеніе равномѣрно или неравномѣрно ускорительное или замедлительное. Для равномѣрно ускорительнаго движенія служитъ примѣромъ свободное паденіе камня, такъ какъ въ послѣдовательныхъ малыхъ промежуткахъ времени длины проходимыхъ имъ путей увеличиваются на одну и ту же величину; наоборотъ, движеніе камня, брошеннаго прямо вверхъ, служитъ примѣромъ равномѣрно замедлительному движенію. Отношеніе длины пути къ соотвѣтствующему малому промежутку времени даетъ понятіе о скорости движенія; скорость можетъ быть опредѣлена, какъ длина пути, проходимаго тѣломъ въ единицу времени. Мы имѣемъ, слѣдовательно, соотвѣтственно различнымъ родамъ движенія, постоянную и перемѣнную скорости и въ послѣднемъ случаѣ она можетъ быть возрастающей или убывающей. Въ равномѣрномъ движеніи путь, проходимый въ единицу времени, постояненъ, другими словами, въ каждой точкѣ пути или въ каждый моментъ времени скорость одна и та же. При неравномѣрномъ движеніи въ каждую малѣйшую долю секунды или въ каждый моментъ времени скорость различна, причемъ скорость неравномѣрнаго движенія въ данный моментъ времени обозначаетъ длину пути, которую прошло бы тѣло вслѣдъ затѣмъ въ одну секунду, двигаясь уже равномѣрно. Такимъ образомъ при свободномъ паденіи по прошествіи первой секунды тѣло пріобрѣтаетъ скорость въ 9,81 м.; это значитъ, что тѣло прошло бы во вторую секунду 9,81 м., если бы оно при этомъ двигалось равномѣрно; между тѣмъ, какъ дѣйствительно пройденный падающимъ

тѣломъ путь въ первую секунду равняется 4,9 м., такъ какъ въ началѣ его скорость была равна 0. При равномѣрно ускорительномъ или замедлительномъ движеніи приращеніе или убыль скорости въ каждую секунду носитъ названіе ускоренія или замедленія (т. е. отрицательнаго ускоренія). Кромѣ обыкновенной и общеупотребительной мѣры скорости — метръ въ секунду, въ техникѣ примѣняется часто мѣра километра въ часъ (въ особенности для желѣзныхъ дорогъ и судовъ).

Скорость вращательнаго движенія измѣряется различнымъ образомъ; скорость оборота обозначаетъ длину пути (въ метрахъ) проходимую какой либо точкой оборота въ одну секунду. Другое понятіе составляетъ угловая скорость; она означаетъ уголъ, измѣряемый дугой при радіусѣ въ 1 м., между *начальной и конечной точками пути, соединенными съ центромъ вращенія,* и соотвѣтствующими началу и концу секунды; отсюда прямо получается понятіе объ угловомъ ускореніи. Мѣра скорости вращенія, угловой скорости и углового ускоренія такая же, слѣдовательно, какъ и для скорости прямолинейнаго движенія, именно, единица длины (метръ), причемъ также и при угловой скорости уголъ измѣряется длинной соотвѣтствующей дуги. Во многихъ случаяхъ въ техникѣ скорость вращенія опредѣляется числомъ оборотовъ въ нѣкоторый данный промежутокъ времени, причемъ за единицу времени принимаютъ обыкновенно минуту, а не секунду; такимъ образомъ мѣрою здѣсь служитъ просто число. Для измѣренія скорости въ большинствѣ случаевъ *непосредственно опредѣляется* длина пути (въ метрахъ) и соотвѣтствующій промежутокъ времени (въ секундахъ) и затѣмъ первое дѣлится на второе.

Во многихъ случаяхъ однако проходимые пути не могутъ быть на самомъ дѣлѣ измѣрены, и часто также подлежащій измѣренію промежутокъ времени бываетъ настолько малъ, что даже точные секундомѣры не могутъ быть примѣнены. Для такихъ случаевъ устраиваются особые приборы, напримѣръ, лагъ для измѣренія быстроты хода корабля, анемометръ для скорости вѣтра. Въ новѣйшее время придуманы даже приспособленія для измѣренія скорости полета артиллерійскихъ снарядовъ.

Особаго рода приборы употребляются для измѣренія скоростей вращенія. Такъ называемые счетчики оборотовъ даютъ въ данное время число оборотовъ вращающейся оси (или вала). Посредствомъ тахометра можно безъ наблюденія времени сразу опредѣлить скорость вращенія; такіе приборы имѣются также съ особымъ приспособленіемъ, при помощи котораго искомая скорость обозначается графически въ видѣ кривой линіи.

Для примѣра здѣсь приводятся скорости нѣкоторыхъ движеній:

		м. въ секунду	км. въ секунду			м. въ секунду	км. въ секунду
Пѣшеходъ .	около	1,25	—	Пушечное ядро	около	500,0	—
Быстрая рѣка .	„	4,0	—	Приливная волна	„	800,0	—
Скороходъ . .	„	7,0	—	Движеніе луны вокругъ земли	„	—	1,0
Велосипедистъ .	„	10,0	—	Земли вокругъ солнца . . .	„	—	29,0
Миноноска . .	„	12,0	—	Падающія звѣзды въ среднемъ	„	—	40,0
Скаковая лошадь . .	„	12,6	—	Телеграфный эл. токъ	„	—	11700,0
Скорый поѣздъ	„	22,0	—	Свѣтъ	„	—	300000,0
Почтовый голубь	„	27,0	—				
Ураганъ . . .	„	45,0	—				
Звукъ въ воздухѣ	„	337,0	—				

Матерія и ея свойства.

Съ точки зрѣнія физики и механики матеріей называется то, что заполняетъ пространство. Физическое различіе тѣлъ основывается только на раз-

личія въ распредѣленіи вещества въ пространствѣ, тогда какъ въ химическомъ отношеніи важно и качественное различіе матеріи. Общее количество матеріи въ природѣ неизмѣняемо, вещество не можетъ быть не уничтожено, ни создано. Этотъ законъ уже давно принимался и древними естествоиспытателями. Демокритъ и Эпикуръ пользовались уже имъ въ своихъ выводахъ; и вопросъ Цицерона: „установилъ ли какой-нибудь физикъ законъ, что нѣчто не можетъ возникнуть изъ ничего и что нѣчто не можетъ превратиться въ ничто?“ показываетъ, что это воззрѣніе въ его время было общеизвѣстнымъ и считалось несомнѣннымъ.

О сущности матеріи мы находимъ у Ѳалеса (изъ Милета 575 до Р. Х.) мнѣніе, что все сущее возникло изъ воды и въ нее же опять превратится.

Анаксимандръ принималъ за основаніе всякой матеріи особое первоначальное вещество, которое находится въ безпрерывномъ движеніи и которое выдѣляетъ отдѣльныя вещества, сперва теплоту, а затѣмъ холодъ, которыя при своемъ смѣшеніи даютъ жидкость, изъ которой, какъ и у Ѳалеса, образуются всѣ другія вещества. Гераклитъ изъ Эфеса представлялъ себѣ огонь какъ причину всего сущаго, какъ особое живительное явленіе, (но не какъ матерію), изъ котораго произошли всѣ тѣла. Эмпедоклъ принималъ четыре основныхъ элемента: землю, воду, воздухъ и огонь, изъ которыхъ составляются всѣ другія тѣла. Аристотель развилъ это ученіе, которое держалось до среднихъ вѣковъ, слѣдующимъ неяснымъ и мистическимъ образомъ; по его мнѣнію четыре элемента имѣли различныя особыя свойства, по которымъ они были распредѣлены въ природѣ; въ серединѣ міра холодная и сухая земля, вокругъ нея холодная и влажная вода, поверхъ нея теплый и влажный воздухъ и на самомъ верху, все собой замыкающій, сухой и горячій огонь. Позднѣе явился еще и пятый элементъ (такъ же какъ и четыре элемента Эмпедокла, съ востока), какъ квинтъ-эссенція, обладавшая высшими совершенными свойствами, эѳиръ, изъ котораго должны были состоять всѣ небесныя тѣла. Въ средніе вѣка всплыло нѣкоторое число новыхъ, частью чрезвычайно фантастическихъ идей о сущности матеріи. Джіордано Бруно (сожженный на кострѣ въ 1600 г., какъ еретикъ, ученіе котораго направлено было противъ схоластической науки) предполагалъ, что тѣла состоятъ изъ атомовъ, промежутки между которыми наполнены эѳиромъ, причемъ эѳиръ онъ разсматривалъ, какъ міровой духъ. Алхимики принимали еще только два элемента, ртуть и сѣру; первый изъ нихъ соотвѣтствовалъ одухотворенному эѳиру или міровому духу (Spiritus mundi). Въ XVI ст. прибавлено было еще третье основное вещество, соль, какъ огненное начало. Позже опять огонь былъ выдѣленъ, какъ особый самостоятельный элементъ.

Разсмотрѣніе дальнѣйшихъ подробностей о различныхъ болѣе или менѣе неясныхъ и мистическихъ объясненіяхъ сущности матерій въ позднѣйшее время завело-бы насъ слишкомъ далеко. Достаточно отмѣтить только постепенное возникновеніе и развитіе молекулярной или атомистической теоріи, впервые обоснованной научнымъ образомъ отцомъ современной химіи Лавуазье. (Lavoisier родился 1743 г. и умеръ на гильотинѣ во время ужасовъ французской революціи 1794). Эта теорія составляетъ основу современной химіи и господствуетъ неограниченно до сихъ поръ. По этой теоріи матерія состоитъ изъ малѣйшихъ недѣлимыхъ уже болѣе частичекъ или атомовъ. Атомы неизмѣняемы ни въ величинѣ, ни по формѣ; существуетъ около 70 существенно различныхъ по своимъ свойствамъ атомовъ, которые соотвѣтствуютъ 70 простымъ тѣламъ или основнымъ элементамъ въ химіи.

При взаимномъ дѣйствіи притягательныхъ силъ или химическаго сродства атомовъ они соединяются въ извѣстномъ порядкѣ въ нѣкоторыя группы, назыв. молекулами, а эти послѣднія вслѣдствіе притягательныхъ силъ между ними,

или сцѣпленія, образуютъ своимъ соединеніемъ тѣла. Молекулы не могутъ быть разъединены на атомы механическимъ путемъ, а только посредствомъ химическихъ дѣйствій. Посредствомъ самаго тонкаго механическаго размельченія тѣла можно было бы, слѣдовательно, получить молекулы, если бы такое предѣльное раздѣленіе на практикѣ оказалось возможнымъ, но атомовъ такимъ образомъ мы никогда не получили бы.

Если молекулы состоятъ изъ однородныхъ атомовъ, то мы будемъ имѣть, *какъ уже упоминалось, простыя тѣла или элементы, которыхъ теперь найдено* около 70, тогда какъ молекулы всѣхъ другихъ тѣлъ состоятъ изъ различнаго рода атомовъ; такія тѣла слѣдовательно состоятъ изъ нѣсколькихъ элементовъ. Законы соединеній атомовъ и разложеній молекулъ на атомы составляютъ предметъ изслѣдованія особой науки — химіи; наука эта, на основаніи атомной теоріи, привела къ весьма важнымъ выводамъ. Что такъ остроумно составленная, наглядная и для практическаго развитія безспорно полезная теорія имѣетъ свое основаніе и въ дѣйствительности, это во всякомъ случаѣ можетъ подлежать сомнѣнію.

Не всѣ выдающіеся химики вѣрятъ въ дѣйствительное существованіе атомовъ; нѣкоторые считаютъ все это ученіе, какъ простое вспомогательное средство для изложенія и изслѣдованія. Ученіе, по которому всѣ тѣла состоятъ изъ совершенно неизмѣняемыхъ 60—70 элементовъ, и которое еще такъ недавно признавалось почти всѣми химиками какъ неопровержимое и соотвѣтствующее дѣйствительности, въ послѣднее время стало подвергаться сомнѣнію.

На основаніи наблюденій и различныхъ сопоставленій многіе пришли къ мысли, что въ дѣйствительности существуетъ только одно первоначальное основное вещество, которое посредствомъ соединенія своихъ малѣйшихъ частицъ, въ опредѣленныхъ количественныхъ отношеніяхъ, соотвѣтственно атомнымъ вѣсамъ элементовъ и образуютъ эти послѣдніе. До сихъ поръ эти новѣйшія стремленія не привели еще къ осязательнымъ результатамъ; можетъ быть явится еще и въ скоромъ времени человѣкъ, который, подобно Майеру, Джоулю и Гельмгольцу, установившимъ единство силъ, докажетъ единство матеріи и сведетъ всѣ наши 70 элементовъ къ одному основному веществу, разнообразныя видоизмѣненія котораго образуютъ различныя тѣла.

Для механики вопросъ о сущности матеріи и ея атомистическаго состава не имѣетъ значенія; въ ней разсматриваются только физическія свойства тѣлъ и для нея достаточны первоначальныя объясненія, хотя они не даютъ никакихъ выводовъ относительно дѣйствительной сущности матеріи.

Дѣлимость. Одно изъ общихъ свойствъ матеріи, слѣдовательно и всѣхъ тѣлъ, составляетъ механическая дѣлимость, о которой было уже вскользь упомянуто; дѣлимость можетъ идти чрезвычайно далеко, на практикѣ почти неограниченно. Въ горахъ отъ гранитныхъ скалъ взрываютъ большія глыбы; при обработкѣ ихъ отламываются мелкіе куски, которые не годятся для столбовъ, плитъ и т. д.; эти куски разбиваютъ молоткомъ еще на болѣе мелкіе куски для уличныхъ мостовыхъ. На шоссе отдѣльные куски размельчаются все больше проѣзжающими по нимъ колесами экипажей, пока онѣ превратятся въ пыль или грязь; пыль опять-таки состоитъ изъ отдѣльныхъ зеренъ или тѣлъ, формы которыхъ можно ясно различить подъ микроскопомъ. Помощью тонкой мельницы можно раздѣлить каждое изъ этихъ зеренъ еще на множество мелкихъ частичекъ, и только отъ величины давленія и совершенства полировки валика, зависитъ на сколько будутъ мелки частицы. Трудно даже себѣ представить, какъ велика можетъ быть дѣлимость тѣла, когда подумаешь, что содержащееся въ водѣ вещество, напр. поваренная соль, можетъ быть непосредственно и несомнѣннымъ образомъ обнаружено, если даже всего только 1 часть его распредѣлена въ 10 милліонахъ частей воды;

по-Бунзену, неуловимо малое количество соли 0,0000003 миллиграмма или 3 десятитысячемилліонныхъ грамма, распредѣленное въ газовомъ пламени, достаточно для окрашиванія его замѣтнымъ образомъ. Если потереть рука объ руку вблизи пламени Бунзеновской горѣлки, то тотчасъ же въ спектрѣ этого пламени появится желтая линія, указывающая на присутствіе въ пламени поваренной соли; въ выдѣленіяхъ кожи заключается именно эта соль и при треніи рукъ въ пламя попадаетъ какая-нибудь ничтожная частичка ея. Одна стомилліонная доля розанилина, по Гоффману, растворенная въ спиртѣ, сообщаетъ ему замѣтное окрашиваніе. Небольшая капелька эфирнаго масла наполняетъ при испареніи своимъ запахомъ пространство большой комнаты; кусочекъ мускуса, непрерывно наполняющій комнату своимъ запахомъ, не обнаруживаетъ замѣтной потери въ своемъ вѣсѣ даже черезъ нѣсколько лѣтъ. Вытянувъ позолоченный серебряный небольшой цилиндръ въ тонкую проволоку, можно *получить слой золота въ 0,000004 мил. толщиной.* Одинъ миллиграммъ золота можетъ покрыть такимъ образомъ поверхность въ 60 кв. м. Извѣстенъ примѣръ, что большую конную статую можно позолотить однимъ дукатомъ.

Пористость. Если мы станемъ сравнивать между собою губку и кусокъ мрамора, то главное различіе въ физическихъ свойствахъ обоихъ тѣлъ намъ представится въ томъ, что губка **пориста**, а мраморъ **плотенъ**. И мраморъ, впрочемъ, не вполнѣ плотенъ; онъ также пористъ, такъ какъ онъ впитываетъ въ себя небольшія количества жидкости. Впитанная мраморомъ какая-нибудь краска, напр. анилиновая, трудно смывается или соскабливается, какъ это приходилось испытать многимъ хозяйкамъ къ ихъ огорченію съ ихъ умывальными столами и зеркальными консолями, краска проникаетъ въ поры и находится не только на поверхности, но и внутри мрамора, хотя и въ очень тонкомъ поверхностномъ его слоѣ. Если плотно закрыть верхній конецъ трубки кускомъ дерева или кожи и, присоединивъ ее къ воздушному насосу, выкачать изъ нея воздухъ, то налитая сверху ртуть проникнетъ подъ дѣйствіемъ атмосфернаго давленія сквозь поры дерева или кожи и будетъ падать внутри трубки мелкими каплями. Если подвергнуть сильному сжатію свинцовую трубку, наполненную водой и съ обоихъ концовъ плотно закрытую, то вода выступитъ сквозь свинецъ наружу. Нѣтъ ни одного тѣла вполнѣ плотнаго; всѣ тѣла болѣе или менѣе пористы. Стѣны нашихъ домовъ, сдѣланныя въ особенности изъ кирпича, пористы въ высшей степени. Черезъ стѣны постоянно проникаетъ внѣшній и внутренній воздухъ, чѣмъ обусловливается необходимое провѣтриваніе жилыхъ помѣщеній, даже при закрытыхъ окнахъ. Если влить въ стеклянную или желѣзную трубку известковаго раствора или цемента и постепенно сдавливать его, то по затвердѣніи его получится крѣпкая, плотная масса; но все-таки не вполнѣ плотная, такъ какъ она можетъ впитать въ себя довольно значительное количество воды. Присоединивъ къ одному концу трубки изогнутую въ видѣ U простую стеклянную трубку, частью наполненную водою и которая могла бы служить намъ манометромъ, мы можемъ замѣтить, что при сильномъ вдуваніи воздуха черезъ другой конецъ трубки съ цементомъ, онъ проходитъ сквозь цементъ и приводитъ въ колебаніе воду въ манометрѣ.

Пористостью нѣкоторыхъ тѣлъ пользуются для **фильтрованія** жидкостей, *т. е., для очищенія ихъ, причемъ жидкость проходитъ сквозь поры фильтра*, а посторонніе частички задерживаются на его поверхности. Для этого нужно, чтобы поры фильтра были меньше, чѣмъ самыя малыя изъ частицъ, которыя надлежитъ выдѣлить изъ жидкости. Рис. 4 показываетъ примѣненіе **бумажнаго фильтра**, пользоваться которымъ приходится очень часто въ лабораторіяхъ. Изъ особенно приготовленной, непроклеенной и не гладкой бумаги свертываютъ воронку; такой фильтръ вкладываютъ въ стек-

лянную воронку, къ стѣнкамъ которой влажная бумага плотно пристаетъ. Если налить въ воронку воды, которую требуется очистить, то посторонніе частички при просачиваніи воды останутся на бумагѣ. Но посредствомъ фильтраціи нельзя освободить жидкость отъ растворенныхъ въ ней веществъ. Особенно важны фильтры для очищенія питьевой воды. Въ городскихъ большихъ фильтрахъ, служащихъ для очищенія рѣчной воды, примѣняется песокъ. Въ большіе баки для этой цѣли насыпаютъ сперва крупный песокъ (гравій), а сверхъ него очень мелкій песокъ. Пропускаемая черезъ такой фильтръ вода оставляетъ на поверхности песка свои примѣси. Поверхность берлинскаго фильтра равняется 101460 кв. м.: всѣ фильтровые бассейны покрыты сводами. Въ Гамбургѣ имѣется 137700 кв. м. открытыхъ фильтровъ. Много придумано небольшихъ фильтровъ для домашняго употребленія, которые хорошо очищаютъ мутную воду, вообще пригодную для питья. Но если требуется удалить изъ воды содержащіяся въ ней вредныя для здоровья бактеріи, малѣйшіе микроскопическіе растительные организмы, то для этой цѣли обыкновенные фильтры уже не пригодны; бактеріи настолько малы, что свободно проходятъ черезъ поры большинства фильтровъ. Совершенно непроницаемы для бактерій фарфоровые фильтры, впервые устроенные знаменитымъ Пастеромъ (Pasteur) въ Парижѣ, но зато, вслѣдствіе именно чрезвычайной малости ихъ поръ, они даютъ такъ мало воды, что не могутъ примѣняться для обыкновеннаго домашняго хозяйства, а употребляются только въ лабораторіяхъ для полученія небольшихъ количествъ вполнѣ освобожденной отъ всякихъ болѣзнетворныхъ зародышей воды, такъ называемой стерилизованной воды. Какъ показали многочисленныя изслѣдованія вполнѣ достигаютъ своего назначенія и придуманные докторомъ Нордмейеромъ (Nordtmeyer) кремнистые фильтры (подъ названіемъ Berkefeldfilter): ими можно пользоваться и въ домашнемъ хозяйствѣ, такъ какъ они доставляютъ достаточное количество чистой воды. Такой фильтръ составляетъ полый цилиндръ изъ обожженной инфузорной земли; эта земля состоитъ изъ чрезвычайно малыхъ чешуекъ діатомей, происходящихъ отъ инфузорій прошлыхъ временъ. Вода проникаетъ снаружи въ такіе цилиндры, изъ которыхъ она затѣмъ выливается. Осаждающіяся на внѣшней поверхности ихъ нечистоты время отъ времени смываются. На рис. 5 и 6 показанъ такой фильтръ, присоединяемый къ водопроводному крану, въ разрѣзѣ и въ его общемъ видѣ. Фильтровый цилиндръ вставленъ въ плотно закрытый чугунный сосудъ, который прикрѣпляется къ водопроводной трубѣ. При открываніи крана вода входитъ въ сосудъ и просасывается черезъ стѣнки фильтра внутрь цилиндра, изъ котораго она вытекаетъ черезъ верхнюю трубку; внизу имѣется кранъ для выпусканія скопившейся на днѣ грязи. Для очистки щеткою фильтроваго цилиндра отвинчивается крышка сосуда, послѣ чего цилиндръ можетъ быть вынутъ. Фильтрамъ придаютъ тотъ или другой видъ, сообразно съ цѣлью ихъ практическаго примѣненія. Гдѣ нѣтъ водопровода, тамъ употребляютъ капельный фильтръ, изображенный на рис. 7; дѣйствіе его разумѣется менѣе значительно, чѣмъ при фильтраціи подъ давленіемъ.

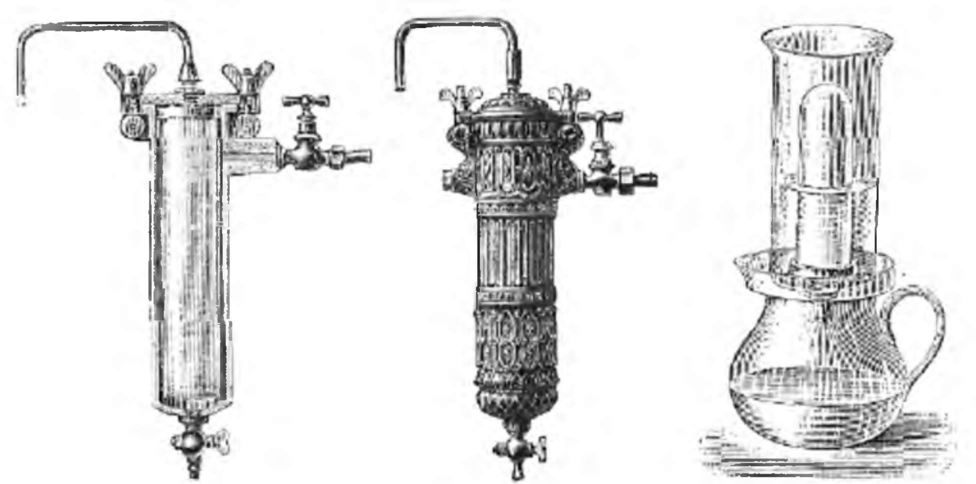


4. Бумажный фильтръ.

Нѣкоторые камни бываютъ настолько пористы, что пропускаютъ сквозь себя воду. Такъ въ Индіи, въ центральной и южной Америкѣ, для очищенія воды употребляютъ выдолбленные камни. Рис. 8 изображаетъ грубоватого устройства, но хорошо дѣйствующій фильтръ изъ большого куска пемзы (Центральная Америка). О примѣненіи дерева для фильтраціи морской воды будетъ сказано въ другомъ мѣстѣ.

Крѣпость и упругость. Молекулы всѣхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ настолько связаны между собою, что онѣ представляютъ сопротивленіе всякому измѣненію ихъ взаимныхъ положеній, раздѣленію ихъ или измѣненію формы тѣла. Такое молекулярное притяженіе называется въ физикѣ сцѣпленіемъ; въ обыденной же жизни и въ механикѣ говорятъ при этомъ о крѣпости или твердости. Въ жидкихъ тѣлахъ сцѣпленіе мало: оно недостаточно для поддержанія ихъ формы; жидкости должны заключаться въ сосуды, чтобы онѣ не разлились. Газы вовсе не обладаютъ никакою крѣпостью, они стремятся, напротивъ, расшириться во всѣ стороны. Крѣпость твердыхъ тѣлъ очень различна: она зависитъ и отъ химическаго состава, и отъ физическихъ свойствъ, и отъ состоянія тѣлъ.

Ученіе о крѣпости составляетъ одну изъ важныхъ главъ механики. Оно научаетъ распознавать прочность фундаментовъ и стѣнъ, мостовъ и подпоръ, цѣпей и столбовъ; оно опредѣляетъ крѣпость частей машинъ, правильный

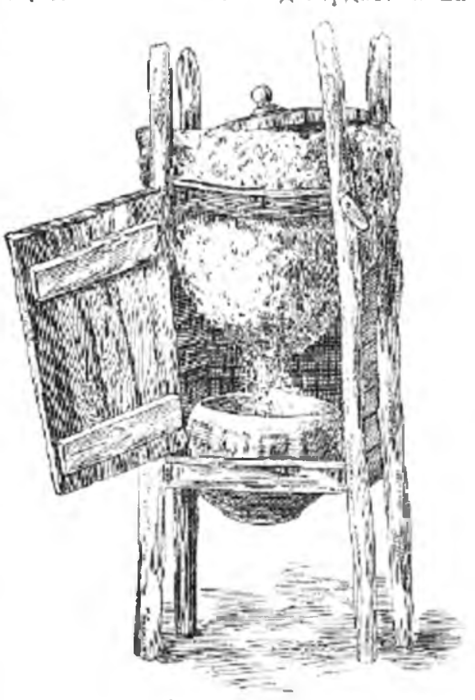


5-6. Водопроводный фильтръ. 7. Капельный фильтръ.

выборъ матеріала для данной цѣли, такъ какъ одинъ матеріалъ лучше выдерживаетъ растяженіе, а другой давленіе, одинъ не выдерживаетъ толчковъ, а другой выдерживаетъ, и т. д. Изъ матеріаловъ, примѣняемыхъ главнымъ образомъ въ техникѣ, самый крѣпкій — сталь; затѣмъ слѣдуетъ кованое желѣзо и чугунъ. При устройствѣ машинъ поэтому всѣ части, которыя при небольшихъ размѣрахъ должны обладать большою крѣпостью, изготовляютъ изъ желѣза или стали, если только по какимъ-нибудь особымъ причинамъ не требуется для нѣкоторыхъ частей другого матеріала. Большіе мосты, высокія башни, если они не предназначаются служить монументальными каменными постройками, затѣмъ пароходы и т. п., изготовляются всегда почти изъ стали или желѣза. Дерево обладаетъ значительно меньшею крѣпостью, но имѣетъ зато другія преимущества; оно гораздо легче, оно можетъ обрабатываться для приданія ему надлежащаго вида на мѣстѣ же, тогда какъ желѣзныя части должны быть заранѣе изготовлены вполнѣ правильно, такъ какъ обработка желѣза безъ особыхъ приспособленій очень затруднительна.

Въ нѣкоторой взаимной зависимости отъ крѣпости находится упругость, т. е., стремленіе извѣстныхъ тѣлъ сохранять свою форму или возстановлять ее, если она была измѣнена какимъ-либо образомъ, напр., посредствомъ давленія или удара. Если сдавить резиновый мячикъ, то по прекращеніи этого внѣшняго давленія онъ снова приметъ свою круглую форму. Если бросить резиновый мячъ на полъ то онъ отскочитъ отъ него кверху;

это происходитъ отъ того, что онъ одной стороной своей при этомъ сдавливается; при возстановленіи же своей прежней формы является давленіе, заставляющее мячъ подскочить вверхъ. Если бы мячъ былъ вполнѣ упругъ, то онъ при отсутствіи сопротивленія воздуха поднялся бы на такую же высоту, съ какой онъ свободно упалъ (безъ толчка). Неупругій глиняный шаръ остался бы лежать, сохранивъ измѣненную форму, или же распался бы на части. Съ явленіемъ упругости связано, слѣдовательно, измѣненіе формы. Когда два хорошихъ билліардныхъ шара ударяются взаимно съ одинаковыми скоростями и вполнѣ центрально, то мгновенно отскакиваютъ почти съ тѣми же скоростями въ обратныя стороны; и въ этомъ случаѣ твердая слоновая кость испытываетъ мгновенную деморфацію. Это можно подтвердить и на опытѣ. Если коснуться небольшимъ шаромъ изъ слоновой кости костяной или мраморной плитки, покрытой тонкимъ слоемъ масла, то прикосновеніе будетъ въ одной лишь точкѣ. Когда же шаръ будетъ брошенъ съ нѣкоторой высоты, то на немъ въ мѣстѣ удара окажется небольшой масляный кружокъ; значитъ настолько при ударѣ шаръ сплющился. И для твердыхъ упругихъ тѣлъ существуетъ предѣлъ для величины давленія, до котораго они возстановляютъ свою прежнюю форму; когда же будетъ перейденъ этотъ предѣлъ упругости, различный для различныхъ матеріаловъ, тогда измѣненная форма уже сохраняется. Вполнѣ упругими можно считать только газы; при измѣненіи даже очень значительномъ ихъ объема посредствомъ давленія (объ измѣненіи ихъ формы не можетъ быть и рѣчи, такъ какъ они не имѣютъ самостоятельной формы), они тотчасъ же принимаютъ свой первоначальный объемъ, когда давленіе будетъ прекращено. Въ газахъ и жидкостяхъ давленіе распространяется равномѣрно во всѣ стороны, вслѣдствіе ихъ упругости, малаго сцѣпленія и удобоподвижности ихъ частичекъ. На этомъ основываются важные гидростатическіе законы, о которыхъ будетъ сказано позже, поднятіе воздушнаго шара и т. д.



8. Фильтръ изъ пемзы.

Прилипаніе. Это свойство имѣетъ нѣкоторое сродство съ сцѣпленіемъ, въ которое и можетъ перейти при извѣстныхъ условіяхъ. Если вылить изъ стакана воду, то на стѣнкахъ его все-таки останется нѣкоторой слой воды, который будетъ держаться на нихъ наперекоръ силѣ тяжести; встряхиваніемъ можно отдѣлить нѣсколько капель, но нельзя совсѣмъ осушить стакана. Сила, удерживающая воду, и есть прилипаніе. Писаніе и рисованіе карандашомъ на бумагѣ или мѣломъ на доскѣ основано на прилипаніи; отдѣляющіяся при нажатіи частички пристаютъ къ бумагѣ или доскѣ. Золоченіе, покрытіе амальгамой зеркальныхъ кстеколъ, склеиваніе также основывается на прилипаніи. Приведя въ прикосновеніе двѣ хорошо отшлифованныя стеклянныя пластинки, мы застайимъ ихъ пристать одна къ другой; нижняя будетъ поддерживаться верхнео если къ ней прикрѣпить даже какой-нибудь грузъ. Онѣ могутъ настольк,значьно пря стать, что иногда трудно

бываетъ ихъ разъединить, не разбивъ ихъ. Въ стеклянныхъ складахъ поэтому не кладутъ прямо стекла одно на другое, но раздѣляютъ ихъ брусками. Прилипаніе не обусловливается дѣйствіемъ внѣшняго атмосфернаго давленія, такъ какъ оно обнаруживаетъ свое вліяніе и въ безвоздушномъ пространствѣ; оно скорѣе представляетъ родъ ослабленнаго сцѣпленія; оно не такъ сильно какъ это послѣднее, потому что соприкосновеніе не настолько тѣсное и разстоянія между молекулами больше. Если бы можно было сдѣлать прикосновеніе тѣснымъ, то прилипаніе перешло бы вполнѣ въ сцѣпленіе, два тѣла соединились бы при этомъ въ одно, какъ это и происходитъ при свариваніи двухъ кусковъ желѣза. Посредствомъ ударовъ молотомъ два куска мягкаго, до-бѣла раскаленнаго желѣза приводятся вплотную въ взаимное прикосновеніе, причемъ вытѣсняется находившійся между ними слой воздуха.

Три физическихъ состоянія тѣлъ.

Съ давнихъ поръ принято группировать тѣла относительно ихъ физическаго состоянія на **твердыя, жидкія и газообразныя**. Это раздѣленіе удобно и даетъ въ обыкновенныхъ случаяхъ достаточно ясныя различенія тѣлъ, обусловливаемыя большимъ или меньшимъ ихъ сцѣпленіемъ. Въ твердомъ состояніи вполнѣ опредѣленны форма и объемъ; въ жидкомъ состояніи тѣло обладаетъ опредѣленнымъ объемомъ, но не имѣетъ постоянной формы; тѣла же газообразныя не имѣютъ ни постоянной формы, ни объема. Эти три условія не составляютъ однако вообще полнаго рѣзкаго разграниченія, въ особенности въ научномъ смыслѣ; они представляютъ только типическія характеристики для трехъ состояній тѣлъ. Большое число встрѣчающихся въ природѣ тѣлъ не группируется въ этихъ рамкахъ и занимаетъ среднее положеніе между тѣмъ или другимъ состояніемъ, причемъ нѣтъ возможности сколько-нибудь строго отнести ихъ къ одному изъ нихъ. Клейкія, мягкія тѣла, какъ сиропъ, студень и т. п. составляютъ переходъ между твердымъ и жидкимъ состояніемъ. Жидкій нагрѣтый клей при охлажденіи медленно становится гуще и крѣпче, пока совсѣмъ не превратится вполнѣ въ твердое стекловидное тѣло; въ какой же моментъ перестаетъ онъ быть жидкимъ и долженъ уже считаться твердымъ тѣломъ? Гораздо рѣзче переходъ отъ жидкости къ газу, хотя и здѣсь не во всѣхъ случаяхъ имѣется опредѣленная пограничная линія. Водородъ, кислородъ, воздухъ при 20°, также какъ и углекислый газъ при температурѣ выше 31°, не могутъ быть ни какимъ образомъ замѣтно превращены въ жидкость, потому что эти газы при сдавленіи ихъ до точки насыщенія настолько же плотны какъ и жидкіе водородъ и кислородъ или жидкій воздухъ и углекислота при той же температурѣ. Ихъ состояніе при такихъ обстоятельствахъ можно одинаково считать газообразнымъ или жидкимъ. Если постепенно нагрѣвать, начиная съ температуры ниже 30°, стеклянную трубочку, запаянную съ обоихъ концовъ и заключающую въ себѣ на половину жидкую углекислоту и на половину ея паръ, то при 30_0 плотности жидкой и газообразной углекислоты становятся одинаковыми и вслѣдствіе этого исчезаетъ видимая поверхность жидкости; наоборотъ, при охлажденіи въ серединѣ трубки появляется туманъ, и вслѣдъ за тѣмъ становится снова видимымъ раздѣлъ между жидкостью и газомъ.

Многія тѣла могутъ находиться въ природѣ во всѣхъ трехъ состояніяхъ, какъ напр. вода, ледъ и паръ. Всѣ газы можно превратить въ жидкости; жидкости же могутъ быть обращены въ твердое состояніе. Наоборотъ простыя твердыя тѣла могутъ быть обращены въ паръ. Это удалось, впрочемъ, только въ послѣднее время при помощи электрическаго тока достигнуть такихъ высокихъ температуръ, какія требуются для превращенія въ паръ нѣкоторыхъ тѣлъ, которыя до тѣхъ поръ извѣстны были только въ твердомъ

или по крайней мѣрѣ также и въ жидкомъ состояніи. Французскій ученый Муассанъ (Moissan) произвелъ много весьма интересныхъ опытовъ посредствомъ своей электрической плавильной печи. Онъ въ состояніи былъ напр. *въ теченіи 5 минутъ испарить 30 гр. мѣди; пары ея осѣли подъ крышкою печи* въ видѣ маленькихъ шариковъ. Во время испаренія, въ томъ мѣстѣ, гдѣ находилось электрическое пламя (т. е. Вольтова дуга) между концами вставленныхъ въ печь углей, выдѣлялось блестящее пламя съ желтымъ дымомъ, который вызывался горѣніемъ мѣдныхъ паровъ въ воздухѣ. Серебро легко перегонялось въ короткое время; даже платина скоро закипала и испарялась. То же самое происходило и съ золотомъ; при сгущеніи паровъ золота получался мелкій блестяще-пурпуровый порошокъ. Также и желѣзо могло быть легко превращено въ паръ въ довольно значительныхъ количествахъ. Впервые при этомъ удалось превратить въ паръ чистый углеродъ. Можно было даже при сильномъ электрическомъ токѣ въ 1000 амперъ подвергнуть перегонкѣ огнеупорную глину, которая примѣняется въ техникѣ какъ вещество, могущее противостоять самому сильному жару. Углеродъ не переходитъ, какъ другія тѣла, сперва въ жидкое состояніе, но превращается прямо въ паръ, который осаждается въ мелкій графитовый порошокъ. Въ электрическихъ калильныхъ лампочкахъ при продолжительномъ ихъ употребленіи осаждается на внутренней сторонѣ стекла, какъ извѣстно, темный слой, значительно задерживающій свѣтъ; и этотъ слой принадлежитъ осажденному углероду, выдѣляемому раскаленными угольными нитями въ лампочкахъ. И всѣ жидкости могутъ быть обращены въ паръ. Главнѣйшіе дѣятели, вліяющіе на переходъ тѣла изъ одного состоянія въ другое, представляютъ давленіе и теплота. Переходъ изъ твердаго въ жидкое состояніе и обратно происходитъ вообще только при поглощеніи и выдѣленіи теплоты; давленіе обыкновенно не принимается во вниманіе. При испареніи же жидкостей или сгущеніи паровъ дѣйствуютъ совмѣстно и теплота и давленіе; оба дѣятеля неразрывно связаны между собою.

Газы и пары. Ожиженіе газовъ. Раньше, до двадцатыхъ годовъ XIX ст., газообразныя тѣла раздѣляли на газы и на пары; послѣдніе могли сгущаться и превращаться въ жидкость, тогда какъ всѣ газы считались постоянными, т. е., принималось, что они при всѣхъ обстоятельствахъ сохраняли газообразное состояніе и ни какими средствами не могли быть превращены въ жидкое состояніе. Въ 1823 году удалось, однако, Фарадэю многіе изъ такихъ, считавшихся постоянными, газовъ сгустить въ жидкости, послѣ чего стали раздѣлять газы на сгущаемые, способные къ ожиженію, и на постоянные. Такое различеніе продолжалось до конца 1877 года, когда французскій физикъ Кальетэ (Cailletet) и одновременно съ нимъ швейцарскій ученый Пиктэ (Raoul Pictet), независимо другъ отъ друга, нашли возможность обратить въ жидкое состояніе нѣкоторые такъ называемые постоянные газы.

Въ настоящее время еще различаютъ въ обыкновенномъ разговорѣ газы и пары въ томъ смыслѣ, что газы при обыкновенной температурѣ и атмосферномъ давленіи подобны воздуху, тогда какъ пары образуются при нагрѣваніи жидкостей. Пары обнаруживаютъ различныя свойства, смотря по тому, насыщаютъ ли они или не насыщаютъ данное пространство. Насыщающимъ паръ бываетъ тогда, когда онъ при данной температурѣ обладаетъ наибольшими плотностью и упругостью; пространство, насыщенное парами, уже не можетъ больше вмѣщать въ себѣ того же пара и при уменьшеніи его объема, при сжатіи, упругость не возрастаетъ, остается постояннымъ, но зато часть пара обращается въ жидкость. Всякій паръ при каждомъ давленіи имѣетъ опредѣленную, зависящую отъ температуры точку насыщенія, или упругость насыщающаго пара соотвѣтствуетъ опредѣленной

температурѣ. Такъ, напр., упругость водяного пара при $100^0 = 1$ атмосферѣ, при $160^0 = 6$ атмосферамъ; при охлажденіи часть пара сгущается и давленіе уменьшается. Паръ, не насыщающій при данной температурѣ, не имѣетъ наибольшей плотности; заключающее его пространство можетъ вмѣщать въ себя еще болѣе пара, причемъ паръ можно до извѣстной степени, именно до его точки насыщенія, сжимать или охлаждать безъ того, чтобы онъ сталъ частью переходить въ жидкость. По закону Маріотта упругость газовъ возрастаетъ пропорціонально уменьшенію объема; пары ненасыщающіе слѣдуютъ тому же закону; можно сказать поэтому, что газы суть пары, находящіеся относительно ихъ плотности далеко отъ точки ихъ насыщенія. Между газами въ тѣсномъ смыслѣ и парами ненасыщающими нѣтъ существеннаго различія. Сильно перегрѣтый водяной паръ, напр., при атмосферномъ давленіи и при температурѣ 300^0, уже не паръ въ обыкновенномъ смыслѣ, а газъ. Но и газы, какъ и пары, имѣютъ ихъ точки насыщенія и ожиженія; всѣ они могутъ быть, какъ уже упомянуто, сгущены въ жидкости. Ожиженіе нѣкоторыхъ газовъ, которые до 1877 года принимались за постоянные, какъ водородъ, кислородъ, воздухъ, не можетъ быть достигнуто помощью одного уменьшенія объема, сжатія, но совмѣстно съ этимъ температура ихъ должна быть понижена. Когда газъ находится при температурѣ высшей нѣкоторой предѣльной, такъ называемой **критической температурѣ**, то его однимъ сжатіемъ нельзя обратить въ жидкое состояніе. Критическая температура водорода равна -174^0, кислорода -118^0, углекислоты -31^0 (ниже нуля).

Такъ какъ, по предъидущему, газы отличаются отъ паровъ только тѣмъ, что первые находятся въ состояніи выше критической температуры, а послѣдніе ниже ея, то отсюда слѣдуетъ, что газообразное тѣло можетъ быть только тогда сгущено въ жидкость, когда температура его при его охлажденіи становится ниже критической точки. Такъ какъ упругость насыщающаго пара возрастаетъ вмѣстѣ съ температурой и при ожиженіи нужно ее преодолѣть, то для сгущенія нужно употребить тѣмъ большее давленіе, чѣмъ выше температура; чѣмъ низшая достигнута температура, тѣмъ при меньшемъ давленіи происходитъ ожиженіе.

Еще раньше, чѣмъ было установлено понятіе о критической температурѣ было извѣстно, что нѣкоторые газы при совмѣстномъ дѣйствіи давленія и охлажденія могли быть превращены въ жидкость. Въ то время имѣлась возможность достигнуть только сравнительно незначительнаго охлажденія, именно пользуясь зимнимъ морозомъ или давно извѣстной охладительной смѣсью изъ снѣга и соли, посредствомъ которой можно понизить температуру ниже нуля до -32^0. Но послѣ того, какъ удалось помощью такого охлажденія и давленія получить жидкую углекислоту, найдено вмѣстѣ съ тѣмъ было, что при быстромъ испареніи ея нѣкоторая часть ея затвердѣвала въ видѣ снѣжной массы, обладавшей температурой -79^0. Такимъ образомъ открытъ былъ новый способъ охлажденія. Фарадэй первый воспользовался имъ въ своихъ опытахъ надъ ожиженіемъ газовъ. Для образованія же сильнаго давленія съ цѣлью сгущенія газовъ пользуются большею частью обыкновенными механическими средствами, именно, нагнетательными воздушными насосами.

Фарадэй, какъ было указано, достигъ ожиженія многихъ газовъ; нѣкоторые изъ нихъ онъ могъ даже привести въ твердое состояніе. Противостояли ожиженію тогда только немногіе газы, между ними водородъ, кислородъ, азотъ (а также воздухъ, смѣсь кислорода и азота), даже при самыхъ сильныхъ давленіяхъ (до 1000 атмосферъ) и самомъ сильномъ охлажденіи, какое только возможно было достигнуть въ то время. Какъ уже было упомянуто, почти одновременно въ концѣ 1877 года Кальетэ въ Парижѣ и Рауль Пиктэ въ Женевѣ нашли средства обратить въ жидкое состояніе кислородъ, азотъ, воздухъ и окись углерода, но еще не водородъ. Объ удачѣ этихъ опытовъ въ одинъ и тотъ же день было сообщено парижской академіи наукъ. Оба экспериментаторы независимо другъ отъ друга и различными путями пришли къ одной и той же цѣли. Способъ Кальетэ основанъ на томъ, что уже предварительно значительно охлажденный и сильно сжатый газъ еще болѣе охлаждается, если сразу расширить его, прекративъ мгновенно

давленіе на него; если при этомъ охлажденіе перейдетъ за критическую температуру, то часть газа сгустится въ жидкость. Такимъ образомъ онъ получилъ жидкій кислородъ въ видѣ росы на стѣнкахъ трубки, когда сразу было понижено давленіе на газообразный кислородъ, находившійся при давленіи 300 атмосферъ и при температурѣ —29°. Пиктэ же прямо превращалъ газы въ жидкое состояніе. Онъ окружилъ трубку, въ которой находился кислородъ подъ сильнымъ давленіемъ, жидкою углекислотою, полученіе которой уже съ давнихъ поръ не представляло особыхъ затрудненій; жидкую кислоту онъ заставлялъ быстро испаряться при маломъ давленіи, причемъ необходимая для этого теплота поглощалась изъ кислорода, который такимъ образомъ охлаждался ниже его критической температуры. Этимъ путемъ Пиктэ, какъ впослѣдствіи Линде, получалъ и жидкій воздухъ.

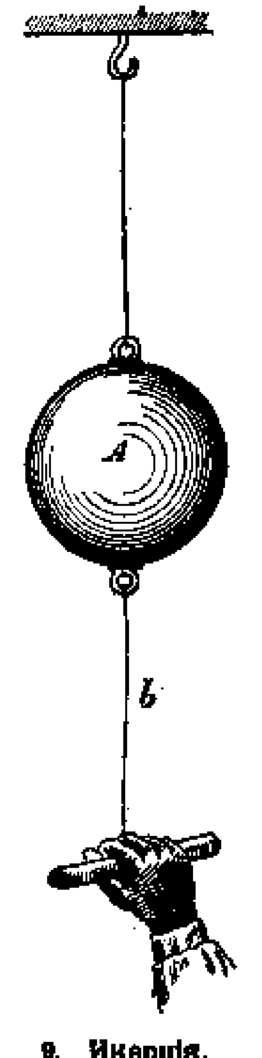
Англійскій физикъ проф. Дьюаръ (Dewar) посредствомъ устроеннаго имъ отличнаго прибора достигъ возможности уже получать жидкій воздухъ въ большихъ количествахъ, нѣсколько литровъ. Онъ придумалъ также особые сосуды, непроводящіе теплоту, для сохраненія жидкаго воздуха продолжительное время при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи. Обыкновенныя употребительныя средства для тепловой изоляціи, какъ войлокъ, вата, для данной цѣли, при столь значительной разности температуръ, были бы недостаточны. Дьюаръ устроилъ поэтому стеклянные сосуды съ двойными и даже тройными стѣнками; изъ промежуточныхъ пространствъ между стѣнками онъ выкачивалъ, почти до полной пустоты, воздухъ помощью ртутнаго насоса. Абсолютная пустота представляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и абсолютный непроводникъ теплоты, т. е. самый совершенный изоляторъ. Въ такихъ изолирующихъ сосудахъ кислородъ остается долгое время жидкимъ при температурѣ—180°; испаряется онъ при этомъ только постепенно. Дьюаръ при помощи своихъ сосудовъ могъ на лекціяхъ производить блестящіе опыты съ жидкимъ воздухомъ; онъ показывалъ, между прочимъ, замерзаніе въ нихъ спирта, который, какъ извѣстно, вслѣдствіе его очень низкой точки замерзанія, примѣняется для измѣренія низкихъ температуръ. Для еще большаго уменьшенія теплопроводности своихъ изолирующихъ сосудовъ проф. Дьюаръ вводилъ въ промежутокъ между ихъ стѣнками небольшое количество ртути, которая при почти полной пустотѣ пространства наполняла его своими парами. Когда въ сосудъ наливался жидкій воздухъ или кислородъ, то пары ртути осаждались вслѣдствіе чрезвычайнаго холода на стѣнкахъ сосуда, образуя блестящую зеркальную поверхность, которая отражала отъ себя идущіе извнѣ тепловые лучи. Дьюаръ одинъ разъ перевезъ изъ Лондона въ Кэмбриджъ такой сосудъ съ жидкимъ воздухомъ, окруживъ его снѣгообразной углекислотой; это все равно какъ если бы пересылался ледъ, погруженный въ кипящую воду, такъ какъ разница въ температурахъ жидкаго воздуха и твердой углекислоты такова же, какъ льда и кипящей воды. (На одну публичную лекцію въ Нижнемъ Новгородѣ удалось благополучно привезти изъ Петербурга дьюаровскій сосудъ съ жидкимъ воздухомъ безъ всякихъ особыхъ предосторожностей и приспособленій, безъ охлажденія его. *Н. Г.*).

Въ настоящее время ожиженіе газовъ вышло изъ стадіи научныхъ опытовъ и перешло уже въ технику и промышленность. Жидкая углекислота уже давно изготовляется въ большихъ количествахъ заводскимъ путемъ; она составляетъ теперь предметъ торговли и часто примѣняется для различныхъ цѣлей. Въ послѣднее время стали приготовлять въ обширныхъ размѣрахъ жидкій кислородъ. Особенною извѣстностью пользуются работы какъ въ научныхъ, такъ и въ техническомъ отношеніяхъ, проф. Линде въ Мюнхенѣ. Его машина для приготовленія жидкаго воздуха, о которой подробности сообщаются въ отдѣлѣ „Теплота“, основывается на давно извѣстномъ принципѣ, что газъ охлаждается при его разряженіи (такъ какъ часть теплоты тратится на внутреннюю работу расширенія). Такимъ образомъ Линде удалось устроить машину, которая можетъ доставить сколько угодно жидкаго воздуха, при затратѣ на это одной только механической работы и безъ примѣненія охладительныхъ смѣсей и высокихъ давленій.

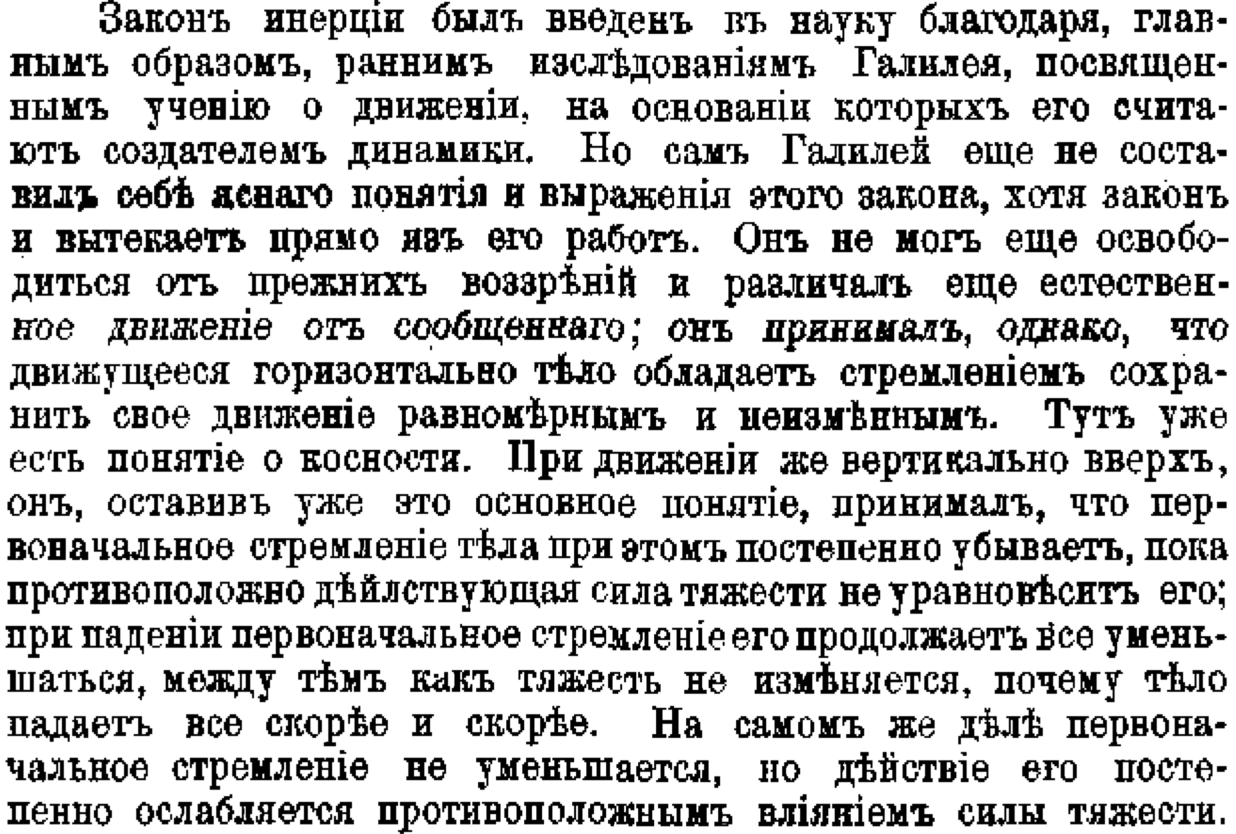
Инерція и сила.

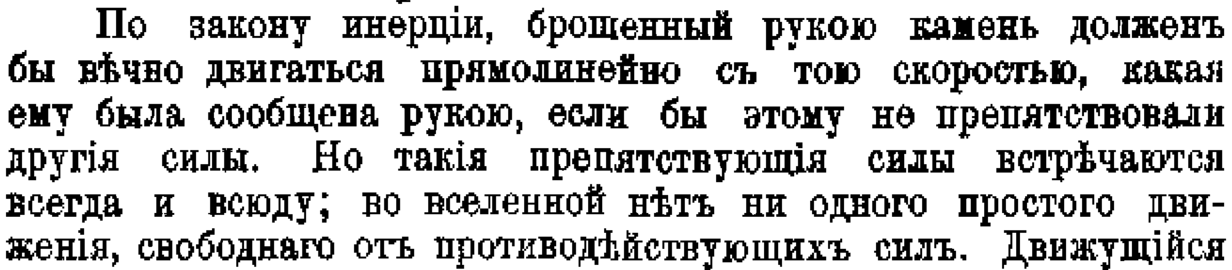
Каждое тѣло, находящееся въ покоѣ или движущееся прямолинейно и равномѣрно, стремится сохранить свое состояніе покоя или движенія, пока какія нибудь внѣшнія причины не заставятъ измѣнить его состояніе. Этотъ основанный на опытѣ законъ носитъ названіе **закона инерціи или**

косности. Чтобы не упасть, выскочивъ изъ быстро движущагося экипажа, нужна большая ловкость; когда лодка, наткнувшись на какое-нибудь препятствіе, сразу остановится, то стоящіе въ ней люди легко могутъ упасть. Законъ инерціи можно показать, между прочимъ, на слѣдующемъ опытѣ (рис. 9). Если шаръ *(A)* подвѣсить на тонкой нити *(a)* и, привязавъ къ нему снизу другую такую же нить, потянуть за нее, то верхняя нить оборвется, такъ какъ кромѣ произведеннаго натяженія на нее дѣйствуетъ также и вѣсъ шара. Когда же быстро дернуть за нижнюю нить *(b)*, то оборвется именно она, а не верхняя нить *(a)*. Это происходитъ отъ того, что прежде чѣмъ толчокъ передастся верхней нити, онъ долженъ мгновенно привести въ движеніе шаръ и преодолѣть его инерцію.



9. Инерція.


Законъ инерціи былъ введенъ въ науку благодаря, главнымъ образомъ, раннимъ изслѣдованіямъ Галилея, посвященнымъ ученію о движеніи, на основаніи которыхъ его считаютъ создателемъ динамики. Но самъ Галилей еще не составилъ себѣ яснаго понятія и выраженія этого закона, хотя законъ и вытекаетъ прямо изъ его работъ. Онъ не могъ еще освободиться отъ прежнихъ воззрѣній и различалъ еще естественное движеніе отъ сообщеннаго; *онъ принималъ, однако, что* движущееся горизонтально тѣло обладаетъ стремленіемъ сохранить свое движеніе равномѣрнымъ и неизмѣннымъ. Тутъ уже есть понятіе о косности. При движеніи же вертикально вверхъ, онъ, оставивъ уже это основное понятіе, принималъ, что первоначальное стремленіе тѣла при этомъ постепенно убываетъ, пока противоположно дѣйствующая сила тяжести не уравновѣситъ его; при паденіи первоначальное стремленіе его продолжаетъ все уменьшаться, между тѣмъ какъ тяжесть не измѣняется, почему тѣло падаетъ все скорѣе и скорѣе. На самомъ же дѣлѣ первоначальное стремленіе не уменьшается, но дѣйствіе его постепенно ослабляется противоположнымъ вліяніемъ силы тяжести.


По закону инерціи, брошенный рукою камень долженъ бы вѣчно двигаться прямолинейно съ тою скоростью, какая ему была сообщена рукою, если бы этому не препятствовали другія силы. Но такія препятствующія силы встрѣчаются всегда и всюду; во вселенной нѣтъ ни одного простого движенія, свободнаго отъ противодѣйствующихъ силъ. Движущійся камень долженъ прежде всего преодолѣвать сопротивленіе воздуха, затѣмъ во всё время его движенія дѣйствуетъ на него сила тяжести, постепенно опускающая его, пока онъ не упадётъ на землю. Шаръ, катящійся по горизонтальной плоскости, постепенно замедляетъ свое движеніе и наконецъ останавливается; кромѣ сопротивленія воздуха въ этомъ случаѣ противодѣйствуетъ инерціи треніе.

Во всѣхъ случаяхъ причиною измѣненія движенія служитъ **сила**; поэтому въ механикѣ, вообще, опредѣляется сила, какъ **причина измѣненія движенія**. О самой сущности силы это опредѣленіе не даетъ никакого понятія, которое не поддается стараніямъ ни физиковъ, ни философовъ. Къ счастью механика и не нуждается въ знаніи сущности силы; для рѣшенія всевозможныхъ механическихъ задачъ, для изслѣдованія и примѣненія дѣйствій силъ совершенно достаточно вышеприведенное опредѣленіе. Мы различаемъ множество силъ природы по ихъ разнообразнымъ дѣйствіямъ, но по современнымъ воззрѣніямъ, всѣ онѣ составляютъ только различныя проявленія одной какой-нибудь первоначальной силы. Такъ въ предъидущихъ примѣрахъ мы имѣли дѣло съ силою тяжести, при бросаніи камня дѣйствуетъ физіологическая мускульная сила, при пушечномъ выстрѣлѣ — расширяющая

сила или упругость пороховыхъ газовъ; въ пружинѣ влiяетъ упругость стали. Иначе проявляются магнитныя и электрическiя силы, какъ притягательныя и отталкивающiя силы между различными тѣлами. Электрическiя лампы замѣняютъ намъ солнечный свѣтъ; посредствомъ электродвигателя и проволокъ мы можемъ пользоваться силою водопада, находящагося отъ насъ за нѣсколько тысячъ километровъ; при помощи вольтовой электрической дуги, дающей чрезвычайно сильный жаръ, мы можемъ расплавлять тугоплавкiе металлы и спаивать ихъ. Но самая значительная и важная въ природѣ и въ техникѣ сила заключается въ теплотѣ.

Обыкновенно подъ силою подразумѣваютъ движущую силу, которая именно способна вызвать движенiе или ускорить или замедлить уже существующее движенiе. Но имѣются силы, которыя, напротивъ, вызываются самимъ движенiемъ; такiя силы называются сопротивленiями. Сцѣпленiе и прилипанiе можно разсматривать какъ сопротивленiя, такъ какъ они препятствуютъ разъединенiю частицъ тѣла, а слѣдовательно и раздвиженiю двухъ соприкасающихся тѣлъ. Тренiе представляетъ также сопротивленiе, имѣющее большое значенiе въ механикѣ и техникѣ.

Механика изучаетъ, главнымъ образомъ, силы въ обыкновенномъ ихъ смыслѣ, или механическiя силы, между тѣмъ какъ другiя упомянутыя силы, какъ магнитныя, электрическiя, тепловыя, входятъ преимущественно въ область физики. Въ послѣднее время, впрочемъ, и теплота составляетъ важный предметъ механики, изучаемый собственно въ механической теорiи теплоты. Всѣ механическiя силы проявляются, какъ натяженiе или давленiе; каждая сила опредѣляется ея точкою приложенiя, направленiемъ и величиною. Первыя два понятiя ясны сами по себѣ. Величина механической силы измѣряется посредствомъ сравненiя съ притягательною силою земли или силою тяжести; послѣднею обусловливается давленiе тѣла на поддерживающую его подставку и натяженiе нити, на которой оно подвѣшено. Такое давленiе (или натяженiе) составляетъ вѣсъ тѣла; за единицу его можетъ быть принятъ килограммъ, или вѣсъ одного кубическаго дециметра (т. е. литра) чистой воды при 4^0 С. Единицу силы составляетъ та сила, которая уравновѣшиваетъ давленiе, производимое однимъ килограммомъ. Всѣ механическiя силы могутъ быть такимъ образомъ выражены въ вѣсовыхъ единицахъ. Такъ, напр., притяженiе магнитомъ своего якоря можетъ быть измѣрено тѣмъ вѣсомъ, который нужно приложить, чтобы оторвать якорь.

Намъ надлежитъ еще остановиться на понятiи о массѣ; масса не тождественна съ вѣсомъ и въ механикѣ принимается между ними рѣзкое различiе. Масса—это заключающееся въ тѣлѣ количество вещества или матерiи. Понятiе о массѣ не имѣетъ слѣдовательно ничего общаго съ тяжестью, но она пропорцiональна вѣсу и между ними существуетъ опредѣленное соотношенiе; въ частности, единица массы можетъ быть произведена изъ единицы вѣса. Единица массы вѣситъ $^1/_{9,8}$ кгр. Число 9,8 есть ускоренiе силы тяжести. (Обратно, за единицу массы можетъ быть принята масса одного килограмма; тогда вѣсъ килограмма будетъ равенъ 9,8 вѣсовымъ единицамъ. *Н. Г.*).

Когда механическая сила не уравновѣшивается противоположною силою, какъ, напр., вѣсъ тѣла давленiемъ подставки, а приводитъ въ движенiе тѣло и ускоряетъ его, то сила, преодолѣвая инерцiю тѣла, производитъ работу. Когда камень выпускается изъ руки, то онъ самъ по себѣ не имѣетъ стремленiя падать; напротивъ, по закону инерцiи, онъ стремится сохранить свое первоначальное состоянiе покоя. Камень тянетъ внизъ сила тяжести, которая при этомъ совершаетъ работу, производя ускоренiе движенiя. Производится также работа, когда какая-либо сила, напр., мускульная подымаетъ

тѣло на нѣкоторую высоту. Единицею работы принимаютъ килограммометръ (kgm) или метркилограммъ (mkg), т. е. такая работа, которая совершается при поднятіи одного килограмма на высоту одного метра. Иногда въ техникѣ употребляется и бо́льшая единица работы, именно, метртонна (mt) = 1000 килограммометровъ. Тѣло, приведенное какимъ-либо импульсомъ, толчкомъ, въ движеніе, сохраняетъ въ себѣ нѣкоторую работоспособность, т. е. обладаетъ способностью преодолѣвать сопротивленіе, оказываемое противоположно дѣйствующею силою; оно совершаетъ при этомъ работу, причемъ скорость его убываетъ постепенно. Эта работоспособность или запасъ работы движущагося тѣла носятъ названіе живой силы. Обозначеніе это можетъ вызвать недоразумѣніе, такъ какъ по предъидущему объясненію мы имѣемъ дѣло здѣсь не съ силою, а съ нѣкоторой величины работой, которая измѣряется въ килограммометрахъ. Величина живой силы вычисляется, какъ произведеніе массы на половину квадрата скорости.

Если бросить камень съ нѣкоторою силою прямо вверхъ, сообщивъ ему, напр., начальную скорость въ 20 м., то подъ вліяніемъ силы тяжести онъ упадетъ вскорѣ на то же мѣсто, съ котораго былъ брошенъ, и съ тою же скоростью и живою силою, какія ему были раньше сообщены, если при этомъ не принимать въ разсчетъ сопротивленія воздуха, какъ будто бы камень падалъ въ безвоздушномъ пространствѣ. Если бы падающее тѣло было вполнѣ упруго и оно упало бы на твердую, горизонтальную, вполнѣ упругую доску, то оно отскочило бы снова на ту же высоту, съ какой упало, въ предположеніи опять безвоздушнаго пространства.

Тѣло, находящееся въ покоѣ, можетъ также обладать работоспособностью. Вообще, запасъ работы въ тѣлѣ называютъ энергіей. Обращаясь къ прежнему примѣру камня, приподнятаго или брошеннаго на нѣкоторую высоту и тамъ задержаннаго, мы будемъ имѣть случай, когда сообщенная ему при поднятіи работа остается безъ дальнѣйшаго дѣйствія. Камень остается безъ движенія, но не безъ работоспособности; работа не потеряна, но какъ бы находится въ тѣлѣ запасенною или въ скрытомъ состояніи. Она можетъ проявиться каждое мгновеніе, когда подпорка будетъ удалена и тѣло станетъ падать; тогда оно разовьетъ ту же живую силу или работу, какая ему была сообщена при его поднятіи. Поэтому работоспособность покоющагося тѣла обозначаютъ какъ энергію положенія или статическую или потенціальную энергію, въ отличіе отъ живой силы движущагося тѣла, называемой энергіей движенія или дѣйствительной или кинетической энергіей. Какъ показываетъ послѣдній примѣръ, оба рода энергіи могутъ переходить одинъ въ другой; потенціальная энергія камня при его паденіи превращается въ живую силу. При заводкѣ часовъ съ грузомъ или пружиною затрачивается механическая работа на подъемъ гири или на скручиваніе пружины; работа эта затѣмъ идетъ на приведеніе въ дѣйствіе часового механизма, на преодолѣніе тренія. Къ паровымъ машинамъ примѣняется, какъ извѣстно, маховое колесо. Оно имѣетъ назначеніе регулировать ходъ машины. При различныхъ положеніяхъ поршня сила, дѣйствующая на валъ, не одинакова. Движущаяся масса маховаго колеса, воспринимая нѣкоторую часть изъ наибольшаго дѣйствія поршня, отдаетъ затѣмъ ее обратно во время наименьшаго дѣйствія, и такимъ образомъ поддерживаетъ общую передачу работы постоянною.

Въ изложенныхъ понятіяхъ о силѣ и работѣ, какъ и въ ихъ мѣрахъ и единицахъ, не входило въ разсчетъ время; между тѣмъ, очевидно, важно знать, какъ долго нѣкоторая сила дѣйствовала и во сколько времени произведена та или другая механическая работа. Вводя время въ предъидущія понятія, мы приходимъ къ понятію о рабочей силѣ или о мощности; часто, въ особенности въ практической механикѣ и въ техникѣ, и просто

обозначеніе силы употребляютъ въ этомъ смыслѣ для краткости. Мощность соединяетъ работу съ временемъ, и единицу его составляетъ секундокилограммометръ (skgm), т.-е. та рабочая сила, которая въ 1 секунду производитъ работу въ 1 kgm., или подымаетъ 1 kg. на высоту 1 м.

Всѣ упомянутыя измѣренія силы и работы относятся къ поднятію какого-либо тяжелаго тѣла, единицы ихъ заключаютъ въ себѣ вѣсовыя единицы; въ нихъ пользуются понятіемъ о силѣ тяжести. Соотвѣтственно первоначальному опредѣленію силы, какъ причины измѣненія движенія, можетъ быть установлена общая зависимость между силой и ускореніемъ. И эта зависимость естественнѣе, чѣмъ съ тяжестью. Но раньше приведенныя измѣренія и единицы принимаются изъ практическихъ соображеній, вслѣдствіе ихъ большей ясности и удобопримѣнимости. На практикѣ часто за единицу рабочей силы принимаютъ лошадиную силу *PS* или *HP* (съ англійскаго Horse-power), равную 75 skgm. Это понятіе введено Дж. Уаттомъ (James Watt). Мѣра эта впрочемъ нисколько не соотвѣтствуетъ дѣйствительной силѣ лошади, которая для ломовой лошади при 10-ти часовой работѣ равна всего около 40—60 skgm. Введеніе же 75 skgm. для лошадиной силы основывается на случайномъ обстоятельствѣ. Одна изъ первыхъ построенныхъ Уаттомъ паровыхъ машинъ была предназначена для приведенія въ дѣйствіе насоса въ пивоварнѣ, въ которой раньше эта работа производилась лошадью. Чтобы получить возможно сильную машину взамѣнъ лошади, пивоваръ опредѣлилъ рабочую силу лошади такимъ образомъ, что заставилъ сильную рабочую лошадь работать безостановочно 8 часовъ до полнаго ея истощенія. По количеству накачанной воды, при этомъ, вычисленіе и дало 75 skgm. для искомой рабочей силы, которая, хотя и очевидно невѣрная, была съ тѣхъ поръ принята въ техникѣ.

Законъ сохраненія энергіи.

Основаніемъ современной механики, какъ и ученія, вообще, о силахъ, служитъ принципъ постоянства силы или точнѣе сохраненія энергіи въ вселенной.

Уже въ древности встрѣчались идеи, соотвѣтствующія этому принципу, какъ мы видѣли это въ введеніи, изъ одного мѣста сочиненія Лукреція, но идеи эти касаются только философской стороны принципа; никогда онъ не былъ изложенъ раньше вполнѣ ясно и не относился, вообще, ко всѣмъ явленіямъ природы. И у Цицерона имѣется намекъ на него; онъ говоритъ именно: „Начало всякаго движенія лежитъ въ томъ, что движется само собою и что не можетъ ни возникнуть, ни пройти". По всей вѣроятности Цицеронъ такъ же, какъ и Лукрецій, перенялъ эти мысли у древнѣйшихъ греческихъ философовъ. Картезій (или Декартъ—Deskartes), который ввелъ измѣреніе силъ посредствомъ движенія, установилъ вмѣстѣ съ тѣмъ законъ, по которому совокупность заключающагося въ природѣ движенія такъ же, какъ и вещества, поддерживается Богомъ постоянною, такъ какъ сила, оставляющая одно тѣло, всегда переходитъ на другое тѣло, и ни одна машина такъ же, какъ и вселенная, не могутъ увеличить своей силы, не получивъ импульса извнѣ. Декартъ не далъ никакого доказательства этого положенія; онъ разсматривалъ его скорѣе, какъ философскій принципъ a priori, очевидный самъ по себѣ и не требующій доказательства. Стремленіе объяснить научнымъ образомъ дѣйствія силъ могло явиться только позднѣе, послѣ Гюйгенса, Лейбница и Ньютона, внесшихъ въ науки новые факты и воззрѣнія. Ньютонъ открылъ законы дѣйствія силъ на разстояніи (всемірное тяготѣніе), Гюйгенсъ установилъ ученіе о движеніи малѣйшихъ частицъ, какъ причины силъ (теорія волнообразнаго движенія свѣта), Лейбницъ своимъ

открытіемъ дифференціальнаго и интегральнаго исчисленій далъ способы рѣшать такія задачи механики, которыя до тѣхъ поръ считались неразрѣшимыми.

Гюйгенсъ примѣнилъ сперва принципъ сохраненія живой силы къ частному случаю, къ движенію маятника. Іоаннъ Бернулли затѣмъ установилъ въ началѣ восемнадцатаго столѣтія общій законъ, по которому сумма живыхъ силъ двухъ тѣлъ, дѣйствующихъ другъ на друга, остается постоянною, и назвалъ его принципомъ сохраненія живыхъ силъ; законъ этотъ впослѣдствіи былъ доказанъ и разработанъ Даламберомъ (d'Alambert).

Но эти изслѣдованія касались только движеній массъ, теплота не принималась въ нихъ въ разсчетъ. При дальнѣйшемъ развитіи науки изслѣдователей привлекалъ уже вопросъ о сущности теплоты. Правда, еще въ началѣ семнадцатаго вѣка Беконъ Веруламскій разсматривалъ теплоту, какъ простое движеніе, такъ какъ она возникаетъ отъ тренія двухъ тѣлъ, но его ученіе не было тогда признано и не получило дальнѣйшаго развитія. Въ концѣ семнадцатаго столѣтія были изобрѣтены паровыя машины Папиномъ и Савари, а съ начала восемнадцатаго вѣка онѣ стали примѣняться все больше и больше для практическихъ цѣлей; это дало новый поводъ стремленію разъяснить сущность теплоты и ея связь съ движеніемъ и механической работой, представляемой на самомъ дѣлѣ паровыми машинами. Парижская академія наукъ объявила въ 1730 г. премію на работу о сущности и распространеніи теплоты, что указываетъ на своевременность и важность темы. Хотя Декартъ и Бойль уже раньше обнародовали свои работы, въ которыхъ теплота разсматривалась какъ движеніе, но, несмотря на это, на состязаніи одержало верхъ старое ученіе. Во всѣхъ предъявленныхъ сочиненіяхъ принималась теплота за особое вещество, и это воззрѣніе оставалось господствующимъ еще цѣлое столѣтіе. Румфордъ (род. въ Америкѣ; сперва школьный учитель, затѣмъ военный министръ въ Баваріи, возведенный въ графское достоинство) своими изслѣдованіями въ концѣ восемнадцатаго столѣтія снова пошатнулъ матеріальную теорію теплоты; онъ наведенъ былъ на это наблюденіемъ, что при механическихъ дѣйствіяхъ, въ частности при сверленіи пушекъ, выдѣляется значительное количество теплоты. Съ матеріальной теоріей теплоты этотъ фактъ не могъ быть согласованъ, напротивъ источникъ теплоты въ такомъ случаѣ надо было искать въ самомъ движеніи сверла. Къ подобному же заключенію пришелъ и Дэви (Davy) на основаніи опыта, что при взаимномъ треніи два куска льда постепенно таятъ. Но, несмотря на то, что этими опытами доказана была невозможность предположенія, что теплота есть какое-то вещество, старая укоренившаяся теорія продолжала все-таки существовать. Еще въ 1822 году писалъ Фурье въ предисловіи къ своей теоретической работѣ о теплотѣ: „Каковы бы ни были приложенія механическихъ теорій, но къ тепловымъ дѣйствіямъ онѣ примѣнены быть не могутъ. Эти послѣднія образуютъ особый классъ явленій, которыя не могутъ быть объяснены на основаніи законовъ движенія и равновѣсія“. Только двадцать лѣтъ спустя благодаря трудамъ нѣмецкаго врача Роберта Майера старое ученіе было окончательно отринуто.

Робертъ Майеръ (R. Mayer) родился въ 1814 году въ Гейльбронѣ. Отецъ его былъ аптекарь. Онъ изучалъ медицину въ Тюбингенѣ, Мюнхенѣ и Вѣнѣ и въ 1838 г. получилъ званіе врача. Въ 1839 г. онъ получилъ мѣсто голландскаго военнаго врача въ Батавіи. Подготовленный предварительнымъ изученіемъ теоріи горѣнія и приложенія ея къ физіологіи, онъ обратилъ вниманіе на одно обстоятельство, повидимому маловажное, когда ему приходилось пускать кровь солдатамъ въ Сурабаѣ на Явѣ; онъ замѣтилъ, именно, что различіе въ окраскѣ артеріальной и венозной крови въ такихъ случаяхъ оказывалось меньше, чѣмъ это должно бы быть, судя по прежнимъ опытамъ

въ Германіи; причина этого различія, какъ остроумно объяснилъ онъ, должна заключаться въ томъ, что въ жаркомъ климатѣ для поддержанія теплоты человѣческаго тѣла требуется меньшая окислительная дѣятельность въ крови, чѣмъ въ холодномъ климатѣ. Эта мысль, приводшая въ связь физіологическую и механическую дѣятельность съ количествомъ теплоты, послужила исходной точкой для дальнѣйшихъ его работъ. Въ нихъ, на мѣсто прежнихъ неясныхъ, неопредѣленныхъ воззрѣній и идей, онъ установилъ вполнѣ понятный общій принципъ, что въ вселенной энергія или запасъ работы постоянны.

Часто примѣнявшіяся выраженія постоянство „силы" или сохраненіе „силы" не точны; совокупность находящихся и дѣйствующихъ силъ въ природѣ мѣняется въ каждый моментъ времени; послѣ совершенія какой-либо работы причина ея, сила, исчезаетъ; работа только изъ нѣкотораго ея запаса перешла въ другую ея форму.


10. Робертъ Майеръ.

Установленный Робертомъ Майеромъ законъ выражается такъ: энергія вселенной постоянна. Онъ исходилъ изъ стараго положенія, что дѣйствіе равно причинѣ (Causa aequat effectum); уже давно извѣстенъ былъ фактъ, приводившійся здѣсь нѣсколько разъ какъ примѣръ, что тѣло при паденіи съ нѣкоторой высоты производитъ такую же работу, какая была затрачена на подъемъ его на ту же высоту. Майеръ впервые доказалъ зависимость между работой и теплотой. Посредствомъ работы можетъ быть получена теплота (напр. при треніи) и, наоборотъ, изъ теплоты работа (паровыя машины); между обѣими величинами, какъ полагалъ Майеръ, *должно существовать опредѣленное постоянное соотношеніе.* Онъ назвалъ это соотношеніе эквивалентностью между работой и теплотой и вычислилъ по имѣющимся даннымъ изъ опыта для механическаго эквивалента теплоты (одной калоріи) 365 kgm. (одна калорія есть то количество теплоты, которое нагрѣваетъ 1 kg. воды отъ 0^0 до 1^0); это значитъ, что для выдѣленія 1 калоріи теплоты требуется затрата въ 365 kgm. работы, или, обратно, что 1 калорія, переходя въ работу, даетъ 365 kgm.

Для механическаго эквивалента теплоты по болѣе точнымъ опытамъ получено было впослѣдствіи число 425 килограммометровъ. При полномъ сгораніи 1 kg. каменнаго угля можетъ быть, разсуждая теоретически, произведена механическая работа примѣрно въ 3 милліона kgm., соотвѣтствующая энергіи упавшаго съ высоты 100 m. груза въ 30 000 kg. На практикѣ же, вслѣдствіе неизбѣжныхъ потерь энергіи, можетъ быть превращена въ работу

только нѣкоторая опредѣленная часть тепловой энергіи, какъ это мы увидимъ въ третьемъ томѣ.

Исходя въ своихъ работахъ изъ теплоты, Майеръ распространилъ полученные имъ результаты и на другія явленія и силы, на силу тяжести, на движеніе, свѣтъ, электричество, а также и на химическія силы, причемъ онъ разсматривалъ всѣ силы, какъ различныя формы проявленія одной и той же энергіи. Измѣненіе энергіи тѣла (кинетической или потенціальной) можетъ быть обусловлено только сообщеніемъ извнѣ или передачей нѣкотораго количества энергіи другимъ тѣламъ, причемъ прибыль съ одной стороны и убыль съ другой должны быть равны между собой. Въ этомъ заключается смыслъ принципа Майера.

Мы видѣли уже, что принципъ этотъ подтверждается въ предыдущихъ примѣрахъ поднятаго или брошеннаго вверхъ камня. Когда упадетъ на полъ тяжелый свинцовый шаръ съ нѣкоторой высоты, то пріобрѣтенная имъ при паденіи живая сила должна куда-нибудь дѣться; она переходитъ въ теплоту; свинцовый шаръ при этомъ нагрѣвается и притомъ настолько, что въ случаѣ сильнаго удара можетъ даже расплавиться. Застрѣвающія въ щитѣ пули бываютъ смяты и частью расплавлены. Приспособленія для защиты отъ выстрѣловъ, какъ панцырныя плиты на военныхъ судахъ, латы и т. п., имѣютъ назначеніе предотвратить вредныя послѣдствія уничтоженія живой силы летательнаго снаряда и превратить ее въ болѣе или менѣе безопасный видъ. При задержаніи панцырной доской полета гранаты, послѣдняя разрушается; энергія ея расходуется тогда на работу нагрѣванія и деформаціи и на преодолѣніе крѣпости матеріала.

Вселенная обладаетъ постояннымъ, неизмѣняемымъ запасомъ энергіи; въ вѣчномъ круговоротѣ природы мѣняются только формы энергіи, переходя одна въ другую, но не общая ея величина. Почти всѣмъ своимъ запасомъ энергіи земля обязана солнцу. Сила вѣтра, приводящая въ движеніе мельницы, вызывается солнцемъ, такъ какъ различная степень нагрѣванія воздуха производитъ въ немъ разность давленій, чѣмъ и обусловливается вѣтеръ. Сила водопада, которою также пользуются для приведенія въ движеніе механизма мельницъ, есть также слѣдствіе многократнаго превращенія солнечной энергіи; подъ вліяніемъ солнечной теплоты испаряется морская вода; образовавшіяся облака уносятся вѣтромъ и заключающаяся въ нихъ вода, при надлежащихъ условіяхъ, выпадаетъ на землю въ видѣ дождя или снѣга; осадки, часть оставаясь на поверхности, а частью просачиваясь въ почву, даютъ начало источникамъ, ручьямъ, рѣкамъ. Даже работа, получаемая помощью паровыхъ машинъ, является результатомъ накопленнаго тысячелѣтіями запаса солнечной теплоты. Каменный уголь, горѣніемъ котораго приводится въ дѣйствіе паровая машина, образовался изъ мощныхъ лѣсовъ, покрывавшихъ землю въ ранніе періоды ея развитія, а эти послѣдніе могли развиваться только подъ дѣйствіемъ солнечной теплоты и свѣта, которые вызывали распаденіе соединенныхъ атомовъ, выдѣленіе углерода изъ углекислоты, и такимъ образомъ обусловливали ростъ растеній; энергія солнечныхъ лучей въ формѣ потенціальной энергіи химическаго сродства постепенно такимъ путемъ запасалась въ растеніяхъ, и могла снова проявиться въ дѣятельной кинетической формѣ при горѣніи, при возсоединеніи углерода съ кислородомъ. Царство растеній составляетъ могучій собиратель солнечной энергіи; безъ него большая часть упавшей на землю солнечной лучистой теплоты разсѣялась бы въ холодномъ міровомъ пространствѣ и было бы потеряно для насъ; мы не имѣли бы тогда нашихъ большихъ запасовъ для искусственнаго отопленія.

Подобно тому какъ помощью потенціальной энергіей угля мы можемъ получить теплоту и полезную для насъ работу, возможно также на основаніи закона сохраненія энергіи преобразовать и живую силу (кинетическую энергію)

въ теплоту. Простой способъ такого преобразованія практиковался уже съ древнѣйшихъ временъ: добываніе огня посредствомъ взаимнаго тренія двухъ кусковъ дерева. Можно быть увѣреннымъ, что въ тѣ позднѣйшія, еще очень отдаленныя отъ насъ времена, когда истощится наконецъ весь запасъ каменнаго угля на землѣ, техника найдетъ средство примѣнить съ пользою имѣющіеся въ природѣ громадные запасы живой силы, между прочимъ воды, съ цѣлью превратить ихъ въ источники теплоты, подобно тому, какъ и нынѣ пользуются ими для полученія полезной механической работы. Технически, собственно говоря, задача уже давно рѣшена: электрическій токъ, полученный напр. помощью динамоэлектрической машины, приводимой въ дѣйствіе водянымъ двигателемъ, можетъ дать легко большое количество теплоты. Только большая стоимость необходимыхъ приспособленій и неизбѣжныя на практикѣ потери при всякихъ превращеніяхъ энергіи останавливаютъ пока примѣненіе этого способа въ большихъ размѣрахъ.

Другимъ образомъ можетъ быть живая сила превращена въ потенціальную энергію помощью пружинъ; если мы теперь приложеніемъ нѣкоторой механической работы закрутимъ или натянемъ пружину и закрѣпимъ ее, то наши предки черезъ столѣтія могли бы воспользоваться запасенной въ ней работой, освободивъ ее.

Робертъ Майеръ распространилъ свое открытіе превращеній энергіи и на животное царство; его принципъ сохраняетъ свое значеніе и для всѣхъ физіологическихъ явленій. Не существуетъ особой жизненной силы, которая могла бы создавать механическую работу и затѣмъ сама собою возстановляться, какъ это когда-то признавалось; теплота и работоспособность животнаго организма образуются насчетъ потенціальной энергіи пищевыхъ веществъ, которыя, соединяясь въ крови и тканяхъ съ вдыхаемымъ кислородомъ, т.-е. сгорая, и доставляютъ тѣлу теплоту и работу. Обитатели холодныхъ странъ и люди, производящіе тяжелую работу, требуютъ поэтому больше пищи, чѣмъ люди, живущіе въ жаркихъ странахъ и мало работающіе.

На работы Роберта Майера сперва мало обратили вниманіе и не придали имъ должнаго значенія. Выдающіеся физики того времени не распознали тогда еще громаднаго значенія новаго принципа, посредствомъ котораго просто и сразу разрѣшались задачи, поставленныя прошлыми вѣками. Первыя его двѣ статьи, съ трудомъ напочатанныя, вызвали съ одной стороны полное невниманіе, съ другой стороны рѣзкія нападки. Нѣкоторые изъ старѣйшихъ вліятельныхъ физиковъ опасались, чтобы философско-спекулятивное направленіе, такъ долго и вредно вліявшее когда-то на развитіе естествознанія и даже господствовавшее въ немъ, не проникло бы въ него снова. Однимъ словомъ и на этотъ разъ повторилось съ изобрѣтателемъ принципа, который долженъ быть поставленъ на ряду съ величайшими научными пріобрѣтеніями всѣхъ временъ, то же, что и со многими другими великими людьми. Свои основные мысли Майеръ обнародовалъ сперва въ 1842 г. въ короткой статьѣ подъ заглавіемъ „Замѣчанія о силахъ неорганической природы“. Вліятельный въ то время редакторъ журнала „Annalen der Physik und der Chemie“ Поггендорфъ отказался напечатать эту статью, и она появилась тогда въ химическомъ журналѣ, издаваемомъ Либихомъ. Но такъ какъ журналъ этотъ почти не читался физиками, да и заглавіе статьи не указывало на важность ея содержанія, то статья осталась незамѣченною. То же случилось и съ его второй работой, на которую только позже обратилъ вниманіе сперва извѣстный англійскій физикъ Тиндаль, но и онъ не могъ найти для нея издателя, такъ что ему пришлось напечатать ее на свой счетъ такъ же, какъ и работу, посланную въ 1846 г. въ Парижскую академію наукъ. Даже и послѣ появленія въ свѣтъ въ 1847 г. имѣвшихъ полный успѣхъ и всѣми признанныхъ работъ Джоуля и Гельмгольца о механическомъ эквивалентѣ теплоты и о сохраненіи

энергіи Майеру не удалось сразу возстановить свое первенство. Только въ 1862 г. Тиндаль выдвинулъ на надлежащую высоту заслуги Майера; на одной публичной лекціи и въ своей книгѣ „Теплота, разсматриваемая какъ родъ движенія“ Тиндаль отдалъ полную справедливость трудамъ Майера, и только послѣ этого наконецъ, какъ путь былъ проложенъ знаменитымъ ученымъ, постепенно стали признаваться заслуги Майера и съ другихъ сторонъ. До тѣхъ поръ Майеру пришлось претерпѣть не мало разныхъ невзгодъ и даже просидѣть (1852—53) нѣкоторое время въ домѣ умалишенныхъ. Но въ концѣ концовъ его первенство, хотя и съ нѣкоторыми ограниченіями, признано было всѣми; онъ былъ избранъ членомъ нѣсколькихъ академій наукъ, ему присуждались степень почетнаго доктора (Doctor honoris causa), преміи, дипломы, медали, ордена и дворянство.

Хотя Майеръ послѣ болѣзни уже не могъ достигнуть полной уравновѣшенности своихъ духовныхъ силъ, но въ немъ снова пробудилась творческая дѣятельность, и онъ написалъ нѣсколько новыхъ важныхъ мемуаровъ. Умеръ въ 1878 г. на своей родинѣ. Въ Штуттгартѣ въ 1890 г. ему поставили памятникъ.

Почти одновременно съ Майеромъ, не зная о его работахъ, занимался рѣшеніемъ тѣхъ же задачъ выдающійся остроумный англійскій физикъ Джоуль (Joule); въ 1847 году онъ обнародовалъ свои изслѣдованія, которыя привели его къ установленію того же принципа и къ опредѣленію точной величины механическаго эквивалента теплоты, близкой къ 430 mkg., какъ это и нынѣ принимается. Джоуль, хотя съ нѣкоторыми возраженіями и ограниченіями, призналъ пріоритетъ Майера. Третій и притомъ самый выдающійся основатель современной научной механики былъ Германъ Гельмгольцъ (H. von Helmholtz), не только несомнѣнно наиболѣе видный изъ нѣмецкихъ ученыхъ нашего времени, но вмѣстѣ съ Дарвиномъ и самый выдающійся естествоиспытатель всего XIX столѣтія. Въ томъ же 1847 году, какъ и Джоуль, и также не зная о работахъ Майера, Гельмгольцъ въ своемъ сочиненіи „Ueber die Erhaltung der Kraft“ пришелъ къ тому же принципу. Онъ показалъ значеніе этого принципа въ примѣненіи къ разнообразнымъ явленіямъ природы. Благодаря Гельмгольцу принципъ сохраненія энергіи составляетъ теперь главную основу механики. Законъ этотъ, связывающій между собою всѣ области механики и физики, а также химіи и физіологіи, долженъ быть поставленъ по степени всеобщаго его значенія на ряду съ установленнымъ Лавуазье (Lavoisier) закономъ сохраненія матеріи. Для техника, въ частности, законъ сохраненія энергіи представляетъ громадное значеніе; при помощи него достигается болѣе легкое и лучшее пониманіе машинъ, и дается возможность вычислять ихъ полезное дѣйствіе.

В ѣ ч н о е д в и ж е н і е (P e r p e t u u m m o b i l e). Новый принципъ представляетъ особенное значеніе еще въ томъ отношеніи, что онъ прямо указываетъ на невозможность рѣшенія старой задачи объ устройствѣ **в ѣ ч н а г о д в и г а т е л я**, т.-е. приспособленія или машины, которыя, пущенныя разъ въ ходъ, могли бы безостановочно двигаться и работать безъ расходованія какой-либо энергіи. Невозможность устройства такого приспособленія заключается въ томъ, что всякое движеніе тѣла сопровождается треніемъ; это же послѣднее обусловливаетъ неизбѣжную потерю энергіи, вслѣдствіе выдѣленія теплоты и стиранія матеріала. Уже давно впрочемъ признавалась невозможность p e r p e t u u m m o b i l e, какъ дѣйствіе, производящее движеніе изъ ничего и потому противорѣчущее здравому смыслу; уже въ 1775 г. Парижская академія наукъ постановила не принимать болѣе къ разсмотрѣнію такихъ задачъ. Но, несмотря на это, на рѣшеніе невозможной задачи многіе люди съ какою-то неудержимой силой тратили свое остроуміе, время и состояніе. И до сихъ поръ, несмотря на всякія неудачи, являются все новые и новые изобрѣтатели такихъ машинъ. Большая часть придуманныхъ машинъ основывается на притягательной силѣ земли, на силѣ тяжести.

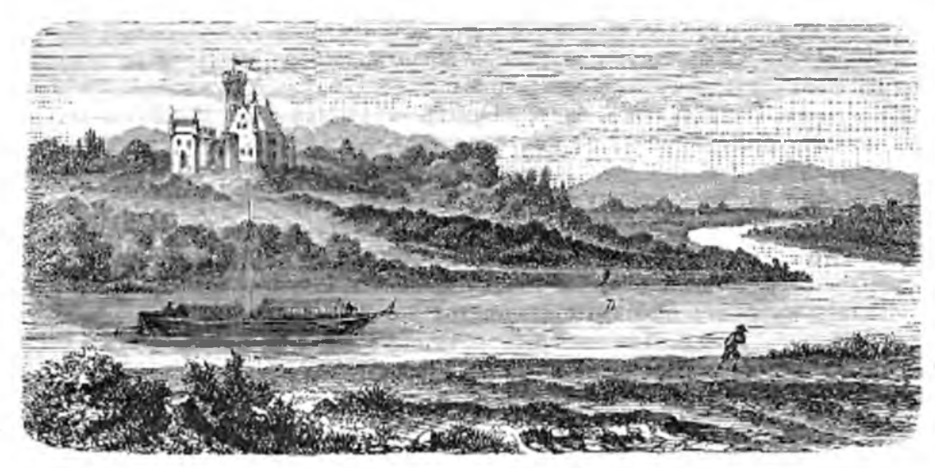
Существуетъ съ давнихъ поръ не мало машинъ, которыя какъ-будто разрѣшаютъ вопросъ о perpetuum mobile удовлетворительно; въ машинахъ этихъ примѣняются силы природы, и ихъ не слѣдуетъ смѣшивать съ тѣми, о которыхъ упоминалось раньше. Каждое водяное колесо могло бы быть разсматриваемо какъ perpetuum mobile, такъ какъ оно работаетъ безъ расхода топлива или безъ другого какого-либо искусственнаго притока энергіи.

Несмотря на принципъ сохраненія энергіи, или же пожалуй на основаніи его, въ очень далекомъ будущемъ должны прекратиться всякое видимое движеніе и всякое проявленіе силъ. Опытъ показываетъ дѣйствительно, что *при всякомъ проявленіи силы или теплоты происходитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и уравненіе ихъ.* Теплота всегда переходитъ отъ тѣлъ, болѣе нагрѣтыхъ, на тѣла, менѣе нагрѣтыя; между тѣлами, одинаково нагрѣтыми, не можетъ происходить ни обмѣна теплоты, ни какихъ другихъ тепловыхъ дѣйствій. Прикасаясь къ предметамъ, мы ощущаемъ теплоту только тогда, когда температура ихъ выше, чѣмъ руки, причемъ теплота изъ нихъ будетъ переходить въ руку; предметы покажутся намъ холодными, тогда, наоборотъ, теплота будетъ сообщаться имъ отъ руки. Отсюда можно заключить, хотя и нельзя это строго научнымъ образомъ доказать, что въ концѣ концовъ вся теплота вселенной должна уравняться, и всюду должна будетъ получиться одна и та же температура. Такимъ же образомъ и всякія проявленія силъ обусловливаются стремленіемъ къ уравненію; когда наступитъ такое равновѣсное состояніе энергіи, то прекратятся тогда вмѣстѣ съ тѣмъ превращенія ея изъ одного вида въ другой, а слѣдовательно и всякія проявленія силъ. Мы можемъ поэтому такъ именно вообразить себѣ конецъ міра съ точки зрѣнія естествознанія, безъ всякихъ какихъ-либо громадныхъ катастрофъ, *исходя только логическимъ путемъ изъ принциповъ механики; хотя первоначальный* запасъ энергіи, вмѣстѣ съ теплотой, и останется при этомъ неизмѣннымъ, но въ немъ не будетъ уже вызываться никакихъ дѣйствій, а безъ тепловыхъ дѣйствій и безъ движенія не можетъ быть жизни, природа будетъ мертва. Черезъ сколько времени наступитъ такой конецъ міра, мы себѣ и представить не можемъ, навѣрно промежутокъ времени этотъ очень великъ, можетъ-быть даже и безконечно великъ. Свободныхъ, неуравновѣшенныхъ еще количествъ теплоты и вообще энергіи въ общемъ запасѣ энергіи въ природѣ чрезвычайно много; на землѣ въ теченіе 2000 лѣтъ температура не понизилась даже и на $^1/_{100}$ градуса.

Сложеніе и разложеніе силъ.

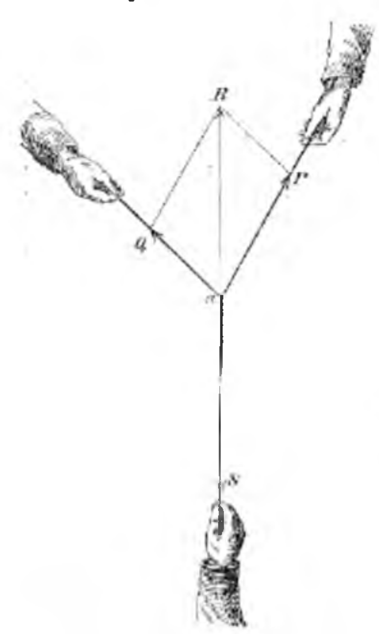
Какъ при движеніи принимается во вниманіе его направленіе, такъ и для силы должно быть дано ея направленіе; оба направленія совпадаютъ, если на движущуюся точку дѣйствуетъ только одна разсматриваемая сила, а всѣ *другія внѣшнія силы или сопротивленія устранены. Здѣсь предполагается* простѣйшій случай, что тѣло сведено къ матеріальной точкѣ или что сила приложена къ центру тяжести тѣла. Когда сила прилагается не къ центру тяжести, а въ сторонѣ отъ него, то дѣйствіе сложнѣе; къ поступательному движенію присоединяется тогда и вращательное движеніе. Намъ предстоитъ теперь изучить, что произойдетъ, если на тѣло одновременно дѣйствуютъ двѣ или нѣсколько силъ. Когда силы дѣйствуютъ на точку въ одномъ направленіи, то само собою понятно, что онѣ произведутъ такое же дѣйствіе, какъ и одна сила, равная ихъ суммѣ. Когда же двѣ силы приложены къ точкѣ въ направленіяхъ противоположныхъ, то онѣ частью покрываютъ одна другую, и дѣйствующею остается сила, равная только разности ихъ и направленная въ сторону большей изъ нихъ. Если бы къ точкѣ приложено было нѣсколько силъ, однѣ въ одномъ направленіи, а другія въ противопо-

ложномъ направленіи, то случай этотъ соотвѣтствуетъ предыдущему, когда имѣлись только двѣ противоположныя силы, причемъ одна изъ нихъ равняется суммѣ данныхъ силъ одного направленія, а другая замѣняетъ сумму силъ другого направленія.



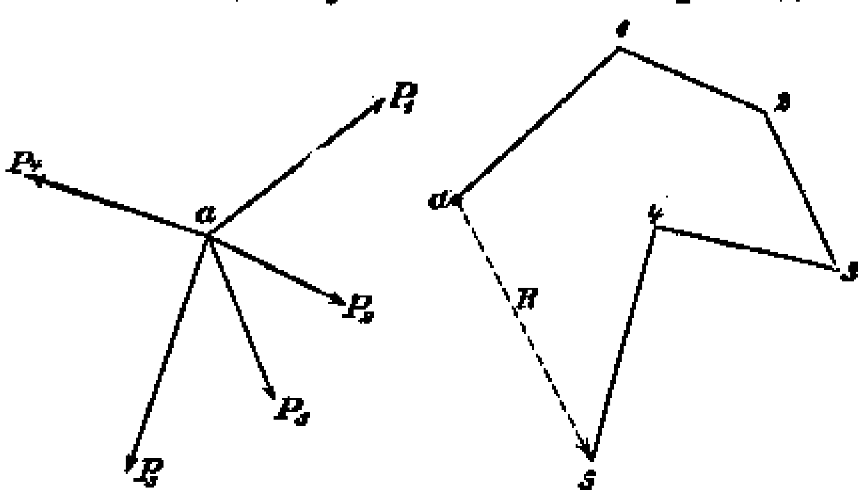
11. Направленіе движенія при дѣйствіи двухъ силъ.

Но какъ справиться съ задачей, когда направленія приложенныхъ къ точкѣ двухъ силъ составляютъ между собою нѣкоторый уголъ, какъ это часто бываетъ? Разсмотримъ сперва одинъ практическій случай. Пусть напримѣръ два человѣка, идущіе по берегамъ рѣки, тянутъ веревками барку противъ теченія. Каждый изъ нихъ тянетъ барку къ себѣ, между тѣмъ барка подъ общимъ ихъ усиліемъ движется въ промежуточномъ направленіи по линіи A D (рис. 11). Чертежъ 12 поможетъ намъ узнать какъ о направленіи, такъ и о величинѣ равнодѣйствующей двухъ силъ, дѣйствующихъ въ направленіяхъ aP и aQ и называемыхъ составляющими силами. Легко видѣть, что по величинѣ равнодѣйствующая не равна суммѣ обѣихъ силъ; чѣмъ дальше расходятся силы, тѣмъ равнодѣйствующая ихъ становится все меньше и меньше, пока не станетъ равною 0 или разности обѣихъ составляющихъ, когда направленія aP и aQ уже составятъ прямую линію. Чтобы опредѣлить изъ чертежа величину равнодѣйствующей силы, мы должны сперва познакомиться, какимъ образомъ вообще графически изображаются величины. Это дѣлается со времени Стевина (Simon Stevinus. XVI ст.) такимъ образомъ, что величины силъ изображаются соотвѣтственными длинами линій; напримѣръ давленіе въ 1 kg. можно выразить длиною въ 1 mm. или въ 1 cm. Положимъ напримѣръ, что силѣ въ 1 kg. соотвѣтствуетъ длина въ 2 mm.; тогда на чертежѣ длина aP будетъ представлять силу въ $9^1/_2$ kg., а другой, aQ, будетъ соотвѣтствовать $6^1/_2$ kg. Равнодѣйствующая изобразится, какъ по



12. Параллелограммъ силъ.

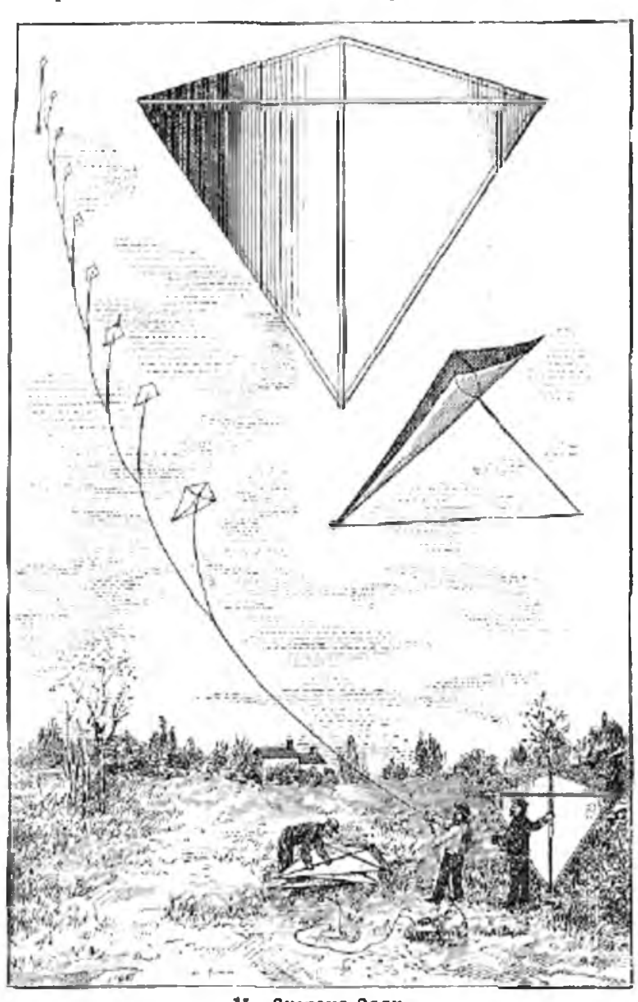
величинѣ, такъ и по направленію, линіею aR, діагональю параллелограмма, построеннаго на составляющихъ силахъ aP и aQ, и будетъ равна 11,5 kg.; чтобы уравновѣсить, нужно приложить такой же величины силу aS въ противоположномъ направленіи. Этотъ важный законъ, на основаніи указаннаго построенія, носитъ названіе параллелограмма силъ; установленіемъ его мы обязаны Симону Стевину, впервые открывшему также остроумный способъ изображать силы, по величинѣ и направленію, прямыми линіями. Когда обѣ составляющія силы одинаково велики, то равнодѣйствующая ихъ лежитъ какъ разъ посерединѣ между ними; когда силы не одинаковы по величинѣ, то направленіе равнодѣйствующей находится ближе къ большей изъ двухъ боковыхъ силъ. Изъ геометрической фигуры параллелограмма силъ можно и вычисленіемъ опредѣлить какъ величину равнодѣйствующей, такъ и ея направленіе, т.-е. углы, которые она составляетъ съ двумя данными силами; на практикѣ вообще и примѣняютъ вычисленіе для этой цѣли. Законъ сохраняетъ свое значеніе и въ томъ случаѣ, когда въ точкѣ приложены болѣе, чѣмъ двѣ силы; сперва составляютъ равнодѣйствующую, изъ двухъ силъ; затѣмъ эту равнодѣйствующую, вполнѣ замѣняющую первыя двѣ силы, соединяютъ съ третьею силою и т. д., пока не получится наконецъ общая равнодѣйствующая всѣхъ силъ. На этомъ основанъ полигонъ или многоугольникъ силъ (рис. 13 и 14); чтобы сложить нѣсколько приложенныхъ къ точкѣ a силъ P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 слѣдуетъ изъ конечной точки одной изъ нихъ провести линію, параллельную и равную по величинѣ другой, напримѣръ (рис. 13) изъ конечной точки P_1 провести (1—2) параллельную и равную P_2; послѣ того изъ конечной точки (2) параллельную и равную P_3 (именно 2—3) и т. д. соотвѣтственно P_4 (3—4) и P_5 (4—5). Если наконецъ соединить послѣднюю конечную точку съ начальной точкой приложенія силъ, то и найдется равнодѣйствующая (R) всѣхъ данныхъ силъ. Если бы конечная точка линіи, соотвѣтствующей послѣдней силѣ (т.-е. 4—5), совпала съ точкой приложенія, многоугольникъ оказался бы слѣдовательно уже замкнутымъ, то равнодѣйствующей не было бы, т.-е. силы находились бы при этомъ въ равновѣсіи или взаимно уравновѣшивали бы другъ друга.



13 и 14. Полигонъ силъ.

Сила, приложенная къ какой-либо точкѣ твердаго тѣла, не измѣнитъ своего дѣйствія на тѣло, если точка ея приложенія будетъ перемѣщена въ направленіи самой силы. Поэтому, если двѣ или болѣе силы приложены къ твердому тѣлу въ различныхъ точкахъ, расположенныхъ въ общемъ направленіи самихъ силъ, то для нахожденія равнодѣйствующей въ этомъ частномъ случаѣ надо только перенести силы въ одну общую точку приложенія и замѣнить ихъ тогда, по предыдущему, одною силою, равною ихъ суммѣ или разности. Когда также двѣ силы различныхъ направленій дѣйствуютъ на двѣ точки твердаго тѣла, то и въ этомъ случаѣ можно перенести ихъ въ одну общую точку ихъ пересѣченія; тогда замѣняются онѣ одною силою на основаніи правила параллелограмма силъ. Если бы при этомъ точка пересѣченія обѣихъ силъ, составляющая вмѣстѣ съ тѣмъ и точку приложенія равнодѣйствующей, пришлась бы внѣ даннаго тѣла, то слѣдовало бы просто равнодѣйствующую передвинуть въ ея направленіи такъ, чтобы точка приложенія помѣстилась въ самомъ тѣлѣ.

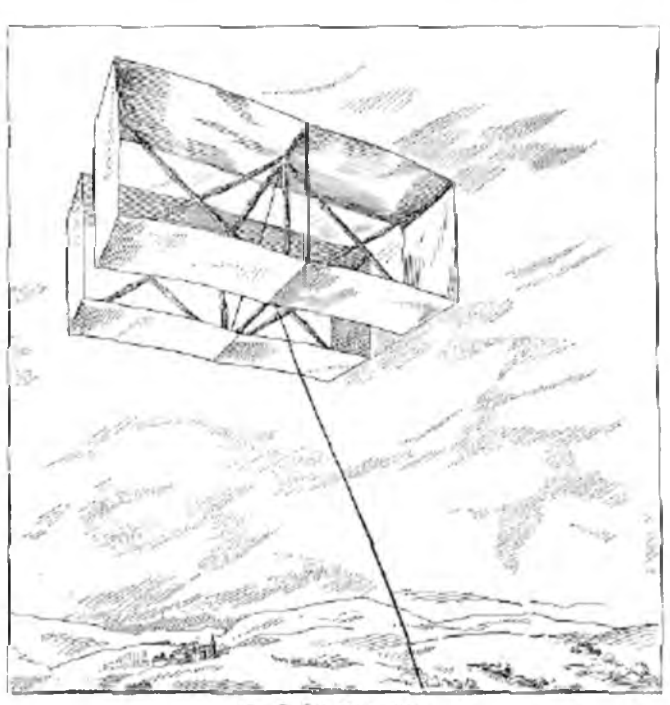
Обратные разсмотрѣннымъ случаямъ сложенія силъ представляются случаи разложенія данной силы на составляющія ея по различнымъ направленіямъ. Такъ, изъ точки приложенія проводятъ линіи по двумъ даннымъ направленіямъ и изъ конечной точки данной силы проводятъ параллельныя этимъ направленіямъ линіи; точки пересѣченія дадутъ конечныя точки составляющихъ боковыхъ силъ, которыя вмѣстѣ замѣняютъ одну первоначальную силу.



15. Система Эдди.

Въ механикѣ приходится часто прибѣгать къ такому разложенію силъ. Такъ напримѣръ, если тѣло не можетъ перемѣститься въ направленіи дѣйствующей на него силы (какъ, положимъ, *вагонъ на рельсахъ*), то на движеніе его будетъ вліять только часть приложенной силы. Чтобы найти эту часть, разложимъ по правилу параллелограмма силъ данную силу на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна направлена въ сторону движенія, а другая перпендикулярно; первая составляющая и будетъ производить движенія, тогда какъ вторая будетъ придавливать только тѣло къ поверхности, вдоль которой совершается движеніе (напримѣръ колеса вагона будутъ прижиматься къ рельсамъ), а содѣйствовать движенію не будетъ. Поднятіе бумажнаго змѣя обусловливается разложеніемъ силы вѣтра. Змѣй, какъ извѣстно, привязывается къ удерживающей его веревкѣ посредствомъ двухъ или трехъ нитей такимъ образомъ, чтобы поверхность его была наклонена на нѣкоторый уголъ относительно вертикальной линіи; давленіе вѣтра на эту наклонную поверхность разлагается такъ, что одна изъ составляющихъ направляется вверхъ и, противодѣйствуя силѣ тяжести, удерживаетъ змѣй на высотѣ или заставляетъ его подыматься, тогда какъ вторая составляющая направляется вдоль веревки, производитъ ея натяженіе. Уже съ давнихъ поръ пользуются такими змѣями и для научныхъ цѣлей, именно для всесторонняго изслѣдованія верхнихъ слоевъ атмосферы. Уже Франклинъ (Benjamin Franklin), изобрѣтатель громоотвода, производилъ при помощи нихъ свои важныя изслѣдованія надъ электричествомъ облаковъ. Въ новѣйшее время примѣняются

змѣи большихъ размѣровъ для опредѣленія температуры и влажности и т. п. *въ высшихъ слояхъ атмосферы помощью самопишущихъ приборовъ*. Такимъ образомъ изслѣдованія уже производились до высоты 2800 м., и возможно навѣрное достигнуть и еще большей высоты. Примѣняются въ такихъ случаяхъ или тонкіе, легкіе, но крѣпкіе шелковые шнуры, или же, что оказалось лучшимъ, стальныя проволоки (фортепіановыя струны). Чтобы уменьшить вліяніе вѣса удерживающей веревки или проволоки, американецъ Вильямъ А. Эдди (W. A. Eddy) предложилъ поддерживать ихъ при помощи нѣсколькихъ *добавочныхъ змѣевъ*, содѣйствующихъ такимъ образомъ главному змѣю, къ которому подвѣшиваются измѣрительные приборы. Главный змѣй, какова ни была бы высота, несетъ такимъ образомъ всегда одинъ и тотъ же вѣсъ проволоки только до ближайшаго *вспомогательнаго змѣя*. На рис. 15 показано такое оригинальное и остроумное устройство. Тамъ же изображенъ трапецоидальный малайскій змѣй; по изслѣдованіямъ *Эдди*, такой змѣй, отличающійся отъ общеупотребительныхъ, какъ формою, такъ и способомъ закрѣпленія къ веревкѣ, а также изгибаніемъ *при полетѣ*, оказался наиболѣе пригоднымъ. Примѣняются для той же научной цѣли змѣи еще другой особенной формы, такъ называемые змѣи Харграва (Hargrave), отличающіеся въ особенности своею устойчивостью и оказавшіеся весьма удобными при испытаніи ихъ между прочимъ въ Массачусетѣ (Blue Hill) даже при перемѣнномъ и порывистомъ вѣтрѣ. Своею формою такой змѣй совершенно не напоминаетъ обыкновенныхъ летучихъ различныхъ снарядовъ; состоитъ онъ именно изъ четырехъ плоскихъ полотняныхъ стѣнокъ, и едва ли лучше можно его описать, какъ сравнивъ его съ большою коробкою безъ дна и безъ крышки (рис. 16).


16. Змѣй Харграва.

Такъ же въ вѣтряныхъ мельницахъ пользованіе силою вѣтра сводится къ разложенію силъ и параллелограмму силъ. Приведемъ еще другой примѣръ. Многимъ приходилось переѣзжать черезъ рѣку поперекъ теченія на особыхъ судахъ, но немногіе навѣрное отдавали себѣ отчетъ, какая сила передвигаетъ большое судно, не имѣющее никакой машины, ни винта, ни колеса, ни каната, посредствомъ котораго его тащили бы съ одного берега на другой. И самъ управляющій ходомъ судна на вопросъ пассажировъ не можетъ дать удовлетворительнаго объясненія: онъ знаетъ только, какъ онъ долженъ пользоваться барабаномъ или воротомъ, на которые закручены цѣпи, удерживающія судно; какимъ же образомъ дѣйствуетъ сила теченія

рѣки, единственная движущая сила въ данномъ случаѣ, онъ этого не знаетъ, да и это ему безразлично. Судно удерживается лежащею на днѣ вверхъ по теченію длинною цѣпью, укрѣпленною якоремъ. Эта цѣпь на концѣ раздвоена, какъ и веревка змѣя, и обѣ ея вѣтви впущены внутрь судна и намотаны на отдѣльные валы. Вращеніемъ вала можно удлинить или укоротить одну изъ вѣтвей цѣпи и такимъ образомъ повернуть судно наискось относительно главной цѣпи и направленія теченія. Сила текущей воды, давящая наклонно на бокъ судна, разлагается при этомъ на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна производитъ только натяженіе цѣпи, а другая дѣйствуетъ поперекъ теченія и перемѣщаетъ судно къ тому или другому берегу, смотря по тому, какъ оно было повернуто относительно теченія. Такимъ образомъ, слѣдовательно, человѣкъ заставляетъ теченіе произвести нужную для него работу. И вообще, чѣмъ лучше человѣкъ усвоивалъ себѣ законы механики, тѣмъ большую получалъ возможность господствовать надъ силами природы, которыхъ онъ раньше боялся и приписывалъ имъ божественную сущность, такъ какъ не могъ ихъ постичь и совладать съ ними.

Параллелограммъ силъ составляетъ въ механикѣ основу различныхъ дѣйствій надъ силами; къ этому закону сводятся очень многія задачи о дѣйствіяхъ силъ, какъ бы онѣ сложны и трудны ни были.

Статическій моментъ. Законъ рычага. Мы предполагали до сихъ поръ, что силы дѣйствуютъ на свободно подвижныя точки, такъ что направленія движенія и силъ или ихъ равнодѣйствующей совпадаютъ. Существенно иначе обстоитъ дѣло, когда точка, на которую дѣйствуетъ сила, не можетъ перемѣщаться въ направленіи силы, а напримѣръ связана съ другою точкою, около которой она можетъ только вращаться; эта постоянная точка называется центромъ вращенія, а перпендикуляръ, опущенный изъ нея на направленіе силы, называется плечомъ силы. Произведеніе изъ силы на ея плечо носитъ названіе статическаго момента силы или момента вращенія и служитъ мѣрою силы, стремящейся вращать одну точку около другой (въ предположеніи разстоянія 1 между ними). Отличаютъ правовращательные (по часовой стрѣлкѣ) и лѣвовращательные моменты.

Условіе равновѣсія для нѣсколькихъ вращательныхъ моментовъ, дѣйствующихъ на одну точку или на тѣло въ томъ и другомъ направленіяхъ, заключается въ томъ, чтобы сумма статическихъ моментовъ одного направленія равнялась суммѣ моментовъ противоположнаго направленія. Если обѣ суммы не равны, то равнодѣйствующій моментъ будетъ равенъ разности ихъ и направленъ въ сторону большей суммы. Въ этомъ состоитъ законъ рычага, въ его общей формѣ; о примѣненіяхъ рычага будетъ сказано дальше. Законъ рычага принадлежитъ къ числу тѣхъ немногихъ законовъ механики, которые были знакомы уже древнимъ ученымъ, какъ напримѣръ Архимеду. Простѣйшій случай представляетъ рычагъ прямолинейный, состоящій изъ твердаго стержня (разсматриваемаго какъ невѣсомаго), могущаго вращаться около нѣкоторой постоянной точки, и къ которому въ различныхъ его точкахъ приложены перпендикулярно къ нему различныя силы. По предыдущему условіе его равновѣсія состоитъ въ томъ, чтобы сумма правовращающихъ моментовъ, т.-е. произведеній изъ силъ на ихъ разстоянія отъ центра вращенія (или точки опоры), равнялась суммѣ лѣвовращающихъ моментовъ.

Параллельныя силы. Пара силъ. Разсмотрѣнный случай сложенія силъ на основаніи параллелограмма силъ относился къ такимъ силамъ, направленія которыхъ были наклонны другъ къ другу и могли пересѣкаться въ одной точкѣ. Для параллельныхъ силъ предыдущее построеніе не примѣнимо; для сложенія такихъ силъ мы воспользуемся правиломъ статическихъ моментовъ. Когда двѣ параллельныя силы дѣйствуютъ на различныя точки

тѣла въ одномъ направленіи, тогда равнодѣйствующая ихъ равна ихъ суммѣ и направлена въ ту же сторону; точка приложенія равнодѣйствующей лежитъ на линіи, соединяющей точки приложенія отдѣльныхъ, слагающихъ силъ, и притомъ такъ, что статическіе моменты этихъ силъ относительно первой точки равны между собою, или, другими словами, разстоянія этой точки отъ крайнихъ точекъ обратно пропорціональны величинамъ соотвѣтствующихъ силъ. Для полнаго равновѣсія нѣкоторой системы (напримѣръ рычага) требуется слѣдовательно еще сила, приложенная къ той же точкѣ вращенія или опоры и прямо противоположная и равная равнодѣйствующей; такую силу и представляетъ сопротивленіе, вызываемое твердостью опоры.

Когда двѣ равныя параллельныя силы приложены къ двумъ точкамъ тѣла въ противоположныхъ направленіяхъ, тогда онѣ образуютъ такъ называемую пару силъ. Такія силы не имѣютъ равнодѣйствующей; въ такомъ случаѣ нѣтъ давленія въ точкѣ вращенія, приходящейся на серединѣ линіи соединенія точекъ приложенія силъ. Поэтому пара силъ можетъ вызвать только вращательное движеніе; дѣйствіе ея сводится слѣдовательно къ тому, которое соотвѣтствуетъ статическому моменту.

Моментъ инерціи. Мы знаемъ уже, что вслѣдствіе инерціи каждая движущаяся матеріальная точка или и все тѣло стремятся сохранить свое движеніе неизмѣннымъ, и что каждая движущаяся масса обладаетъ энергіею, пропорціональной величинѣ самой массы и квадрату ея скорости. И въ вращательномъ движеніи каждая матеріальная точка, связанная съ центромъ вращенія, стремится сохранить его и обладаетъ нѣкоторой величиной энергіи, пропорціональной ея массѣ и квадрату скорости. Послѣдняя же, въ свою очередь, пропорціональна разстоянію точки отъ центра или оси вращенія. Поэтому произведеніе изъ массы нѣкоторой матеріальной точки на квадратъ разстоянія ея отъ центра вращенія обозначаетъ какъ моментъ инерціи ея относительно центра вращенія. Отдѣльныя части вращающагося тѣла, вслѣдствіе ихъ неодинаковаго удаленія отъ оси вращенія, обладаютъ различными моментами инерціи. Вмѣсто совокупности всѣхъ частей можно представить себѣ въ нѣкоторомъ разстояніи отъ оси какъ бы сосредоточенную въ одной точкѣ массу, для которой произведеніе изъ массы на квадратъ ея разстоянія равнялось бы суммѣ отдѣльныхъ моментовъ инерціи. Принимаютъ за разстояніе единицу (напр. 1 м.), причемъ моментъ инерціи тѣла будетъ равенъ соотвѣтствующей массѣ на разстояніи единицы отъ оси вращенія.

Моментъ инерціи находится въ простой зависимости отъ ускоренія вращающагося тѣла, а слѣдовательно и отъ силы, причемъ произведеніе изъ угловаго ускоренія на моментъ инерціи равняется моменту вращенія силы. Изъ опредѣленія момента инерціи слѣдуетъ, что моментъ этотъ представляетъ нѣкоторую воображаемую массу, какъ бы сосредоточенную въ разстояніи единицы отъ оси вращенія, и которая подъ дѣйствіемъ силы получаетъ такое же ускореніе, какъ и само тѣло.

Треніе.

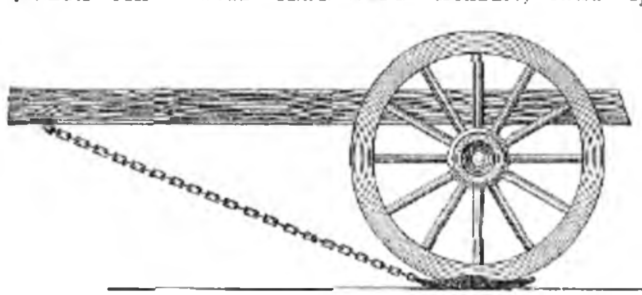
Надъ всею областью естествознанія и въ частности механики и ученія о различныхъ приспособленіяхъ или машинахъ для полученія силы или работы господствуетъ основной принципъ сохраненія энергіи. На основаніи этого закона всякое производство работы обусловливается какимъ-либо превращеніемъ нѣкоторой части запаса энергіи въ природѣ.

Если, по этому принципу, работа не можетъ исчезнуть, то куда же дѣвается видимая ея потеря, неизбѣжно сопровождающая всякіе процессы пре-

вращенія силы и работы? Если бы подвѣшенный на блокахъ грузъ былъ уравновѣшенъ другимъ грузомъ, то стоило бы, кажется, приложить самую ничтожную силу, чтобы приподнять его; катящійся по горизонтальной плоскости шаръ не долженъ бы самъ собою остановиться; на самомъ дѣлѣ между тѣмъ это не такъ. Каждое движеніе сопряжено съ преодолѣніемъ препятствіи, которыя не всегда принимаются въ разсчетъ и которыя поглощаютъ частью работу. При превращеніи теплоты въ механическую работу такую безполезную трату составляютъ лучеиспусканіе и теплопроводность, т.-е. переходъ теплоты на другія, постороннія тѣла. При механическихъ движеніяхъ упомянутымъ препятствіемъ служитъ треніе. Какъ бы ни были гладки поверхности двухъ тѣлъ, треніе все-таки существуетъ, когда одно изъ нихъ движется на другомъ. Величина тренія зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ; прежде всего она зависитъ отъ состоянія поверхностей, отъ степени ихъ гладкости или шероховатости, затѣмъ отъ самого матеріала, отъ давленія и наконецъ отъ рода движенія. Треніе при скольженіи обыкновенно больше, чѣмъ при катаніи. На этомъ основаніи стараются избѣгать перваго рода тренія. Грузы не тащатъ прямо по дорогѣ, а перевозятъ ихъ на телѣгахъ; вмѣсто скользящаго тренія происходитъ при этомъ катящееся треніе колесъ о дорогу и объ оси; оба тренія эти вмѣстѣ значительно меньше, чѣмъ треніе при сложеніи того же груза прямо по дорогѣ. Для передвиженія тяжелыхъ строительныхъ матеріаловъ, каменныхъ глыбъ, рабочіе подкладываютъ подъ нихъ валы, чтобы замѣнить треніе скользящее катящимся. Наоборотъ, если нужно затормозить экипажъ, спускающійся по крутой дорогѣ, то подъ колесо подкладывается прикрѣпленный на цѣпи желѣзный башмакъ, который препятствуетъ колесу вращаться, и такимъ образомъ катящееся треніе замѣняется скользящимъ.



17. Треніе при катаніи.



18. Треніе при скольженіи.

Принимаютъ, что треніе при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ пропорціонально нормальному давленію на тѣла, т.-е. давленію, перпендикулярному поверхности прикосновенія, и не зависитъ отъ величины трущейся поверхности. Это положеніе строго не доказано для всѣхъ случаевъ, но вообще опыты его подтверждаютъ. Извѣстно, что для перемѣщенія тяжелаго тѣла по плоскости потребна бóльшая сила, чѣмъ для легкаго тѣла; при нѣкоторомъ же опредѣленномъ вѣсѣ давленіе тѣмъ больше, чѣмъ на меньшую поверхность оно производится; отсюда и слѣдуетъ, что треніе зависитъ собственно отъ общаго давленія, а не отъ величины поверхности.

Изъ опытовъ были опредѣлены для различныхъ матеріаловъ т. н. ко-

эффиціенты тренія, т.-е. тѣ силы, которыми можно сдвинуть то или другое тѣло при единицѣ вѣса или давленія. Поэтому, чтобы опредѣлить силу, нужную для преодолѣнія тренія, слѣдуетъ умножить вѣсъ тѣла или давленіе, подъ которымъ оно находится, на соотвѣтствующій коэффиціентъ тренія. Если, напр., коэффиціентъ тренія желѣза на чугунѣ 0,19, то для смѣщенія по горизонтальной чугунной доскѣ куска желѣза вѣсомъ въ 10 кгр. требуется приложить силу, равную 0,19 . 10=1,9 кгр. Когда тѣло уже находится въ движеніи, тогда коэффиціентъ тренія его становится меньшимъ, и притомъ тѣмъ меньшимъ, чѣмъ быстрѣе движеніе. Это проявляется между прочимъ въ томъ, что всегда тяжелѣе сначала двинуть съ мѣста нагруженную телѣгу; можно часто видѣть, какъ рабочей лошади приходится напрягать всѣ свои силы, чтобы сдвинуть телѣгу съ мѣста, тогда какъ затѣмъ она везетъ ее легко.

Масла, жиры и др. подобные матеріалы имѣютъ очень малые коэффиціенты тренія; ихъ употребляютъ поэтому для уменьшенія тренія между другими тѣлами. Въ этомъ и заключается смазка, имѣющая столь важное практическое значеніе какъ при устройствѣ машинъ, такъ и въ обыденной жизни. „Кто хорошо смазываетъ, тотъ хорошо и ѣдетъ“—любимая поговорка машинистовъ. Смазка сохраняетъ много силы; безъ хорошей и тщательной смазки, слѣдовательно безъ примѣненія масла, жира и другихъ веществъ, обладающихъ малыми коэффиціентами тренія, невозможны бы были многія изъ нашихъ машинъ, какъ, напр., локомотивы, быстроходныя паровыя машины, ткацкія машины и т. п., такъ какъ оси ихъ сильно разогрѣвались бы и, въ концѣ концовъ, могли бы и расплавиться, что при отсутствіи смазки или при примѣніи неподходящаго смазочнаго матеріала иногда и случается. Не всякій смазочный матеріалъ пригоденъ для всѣхъ случаевъ; для быстро вращающихся валовъ при маломъ давленіи смазочный матеріалъ долженъ обладать другими качествами, чѣмъ для тяжелыхъ валовъ съ большимъ поверхностнымъ давленіемъ. Нѣтъ смысла говорить, что такое-то масло лучше во всѣхъ случаяхъ; каждый опытный машинистъ знаетъ, что для тяжелаго вала большой паровой машины онъ долженъ брать другое масло, чѣмъ для быстро вращающейся оси малой динамоэлектрической машины.

Представляется теперь вопросъ, куда дѣвается поглощенная треніемъ энергія, которая не можетъ уничтожиться. Она тратится на раздробленіе матеріала у трущихся поверхностей и превращается въ теплоту. Всѣ трущіяся поверхности современемъ изнашиваются и стираются, какъ бы матеріалъ ни былъ крѣнокъ и какъ бы ни была хороша смазка.

Треніе происходитъ также, и даже иногда очень значительное, при теченіи жидкостей по желобамъ и трубамъ. Даже въ газахъ есть треніе, которое приходится принимать во вниманіе при газопроводахъ. Когда газъ изъ резервуара протекаетъ чрезъ длинный рядъ трубокъ, то при выходѣ давленіе его меньше, чѣмъ въ резервуарѣ; при разсчетѣ городской газопроводной сѣти это обстоятельство должно быть принято въ соображеніе.

Треніе обусловливаетъ невозможность perpetuum mobile. Оно составляетъ неизбѣжную потерю энергіи. Но во многихъ случаяхъ оно проявляетъ и свои полезныя дѣйствія. По всей вѣроятности, въ первобытныя времена люди добывали огонь посредствомъ тренія двухъ кусковъ дерева; огонь настолько важенъ для человѣка, что греческая миѳологія приписываетъ пріобрѣтеніе огня полубогу Прометею, который похитилъ его съ неба, чтобы подарить людямъ; боги наказали его за это, приковавъ его къ голой скалѣ, гдѣ тѣло его каждодневно пожиралось по частямъ орлами. Добываніе огня треніемъ двухъ кусковъ дерева, чѣмъ пользуются нѣкоторые дикіе народы и до сихъ поръ, составляетъ въ сущности то же самое дѣйствіе, какимъ и мы зажигаемъ фосфорныя спички. Дерево требуетъ только большаго нагрѣванія, а слѣдовательно и большей затраты работы на треніе, чѣмъ спички, головки

которыхъ приготовляются изъ особой, легко воспламеняющейся массы. Зажигательныя спички стали для насъ необходимостью; мы такъ привыкли къ ихъ употребленію, что мы себѣ и представить не можемъ, какъ мы могли обойтись безъ нихъ; между тѣмъ изобрѣтены онѣ вовсе уже не такъ давно. Нѣкоторые и теперь еще могутъ припомнить, съ какимъ неудобствомъ приходилось посредствомъ ударовъ стали о кремень вызывать искры для того, чтобы затлѣлся фитиль и чтобы добыть наконецъ такимъ образомъ огонь. Обыкновенно изобрѣтеніе зажигательныхъ спичекъ приписываютъ венгерскому химику Иринію, но это несправедливо. Заслуга эта принадлежитъ нѣмецкому химику Лудвигу Каммереру изъ Лудвигсбурга; открытіе это онъ сдѣлалъ въ 1833 году. Но, несмотря на важность изобрѣтенія, создавшаго новую вѣтвь промышленности, онъ не могъ имъ воспользоваться, чему помѣшали сильные конкуренты; ему пришлось вести печальную, полную лишеній жизнь и умереть въ 1857 г. въ больницѣ для умалишенныхъ.

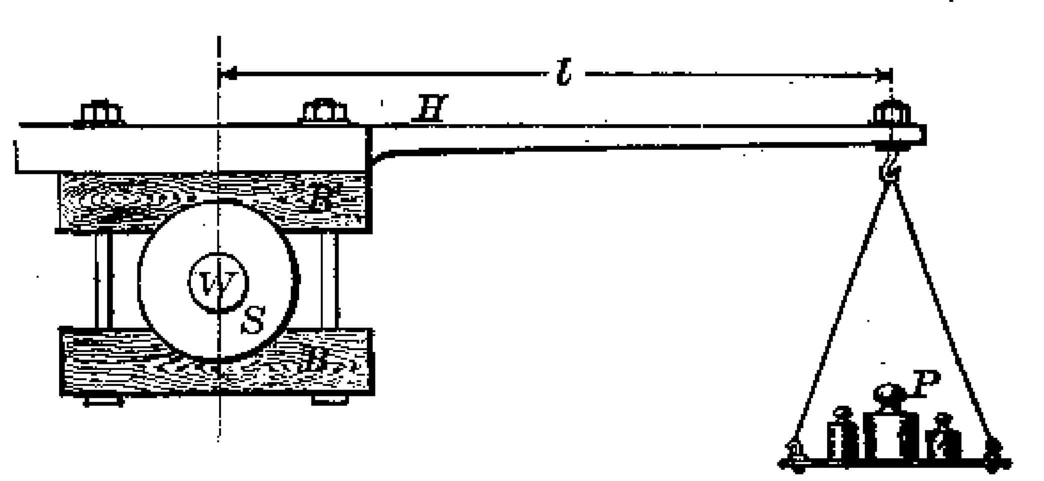
Локомотивы могутъ сдвинуть желѣзнодорожный поѣздъ только вслѣдствіе тренія его колесъ о рельсы, причемъ это треніе должно быть больше, чѣмъ общее треніе колесъ всѣхъ прицѣпленныхъ вагоновъ. Какъ бы ни была сильна машина, но если вѣсъ локомотива недостаточно великъ, причемъ произведеніе изъ нормальнаго давленія на коэффиціентъ тренія не достигаетъ надлежащей величины, одна сила не поможетъ. Мы видимъ это между прочимъ въ томъ случаѣ, когда рельсы во время мороза покрываются тонкимъ слоемъ льда; колеса локомотива тогда вращаются, скользя по рельсамъ, и не приводятъ въ движеніе поѣздъ. Чтобы увеличить треніе, посыпаютъ въ такомъ случаѣ на рельсы песокъ изъ особыхъ, устроенныхъ для этой цѣли воронокъ. На крутыхъ подъемахъ, когда локомотиву приходится преодолѣвать не только треніе колесъ всѣхъ вагоновъ, но и кромѣ того и часть вѣса цѣлаго поѣзда (по закону наклонной плоскости), можетъ случиться, что треніе колесъ локомотива окажется недостаточнымъ. Въ такихъ случаяхъ, какъ это и дѣлается въ послѣднее время на многихъ горныхъ дорогахъ, примѣняются зубчатые, а не гладкіе рельсы, и зубчатыя колеса на локомотивѣ.

На примѣненіи тренія основанъ между прочимъ весьма важный для машиностроенія приборъ, **нажимной динамометръ**, называемый также по имени изобрѣтателя **нажимомъ Прони**. Приборъ имѣетъ цѣлью опредѣлять непосредственнымъ измѣреніемъ работу, производимую машиной. Въ большинствѣ случаевъ работоспособность данной машины не можетъ быть прямо опредѣлена по всѣмъ дѣйствіямъ, которыя она производитъ. Только въ нѣкоторыхъ простѣйшихъ случаяхъ это можетъ быть сдѣлано, какъ напр. когда паровая машина примѣняется непосредственно къ приведенію въ дѣйствіе насоса; тогда полезное дѣйствіе ея легко опредѣлить по количеству и по высотѣ уровня выкачиваемой воды. Но если она служитъ для приведенія въ дѣйствіе цѣлой механической мастерской или завода со многими передаточными механизмами, машинами, насосами и т. п., то покупатель ея можетъ убѣдиться въ ея надлежащей рабочей силѣ только посредствомъ динамометра. Принципъ устройства такого прибора простъ: вмѣсто обыкновенной работы испытуемой машины, ее заставляютъ преодолѣвать сопротивленіе, дѣйствующее на ея главный валъ и которое можетъ быть измѣрено.

Рис. 19 изображаетъ схематически нажимной динамометръ въ его простѣйшемъ видѣ. На ось *W* машины прикрѣпляется дискъ *S* изъ твердаго дерева. Къ нему винтами прижимаются два нажимыхъ бруска *B* и *B'*, къ которымъ закрѣпляется плечо рычага *H*; къ концу рычага привѣшена чашка для гирь *P*. Приборъ дѣйствуетъ слѣдующимъ образомъ. Когда валъ машины вращается при нормальномъ числѣ оборотовъ въ минуту, къ нему прижимаютъ при извѣстной нагрузкѣ посредствомъ нажимныхъ винтовъ динамометръ. Сила машины должна при этомъ преодолѣвать треніе нажимныхъ брусковъ; чѣмъ сильнѣе бруски

будутъ нажаты, тѣмъ больше будетъ преодолѣваемое сопротивленіе; наступитъ наконецъ такой моментъ, когда посредствомъ тренія рычагъ съ нагрузкой P приподнимется. Если нагрузка слишкомъ велика, то при увеличеніи сдавливанія брусковъ ходъ машины станетъ уменьшаться, и она наконецъ совсѣмъ остановится. Какъ величину нагрузки P, такъ и давленія брусковъ надо подобрать путемъ опыта такими, чтобы при обыкновенномъ ходѣ машины рычагъ держался бы горизонтально самъ собою. Развиваемая при такомъ условіи машиною сила равна какъ разъ вѣсу груза P, приложеннаго къ рычагу въ разстояніи l отъ средины вала. Величину давленія нажимныхъ брусковъ такъ же, какъ и коэффиціентъ тренія между ними и дискомъ, нѣтъ надобности знать, такъ какъ треніе уравновѣшивается силою Pl и можетъ быть слѣдовательно ею замѣнена. Зная же P и l, а также число оборотовъ машины, можно прямо вычислить работоспособность машины. Для того, чтобы не принимать въ расчетъ вѣса чашки и самого рычага, устраивается особый противовѣсъ, передвигающій общій центръ тяжести нажимного динамометра (но безъ груза) на ось вала.

На треніи ремней объ обода колесъ основываются передаточныя приспособленія на фабрикахъ. Посредствомъ тренія о точильный камень точатъ и заостряютъ различные инструменты. Полировка металловъ, шлифовка очковыхъ стеколъ, а также сферическихъ стеколъ для оптическихъ и фотографическихъ цѣлей, основывается на треніи. Польза отъ тренія не ограничивается однако всѣмъ этимъ; можно сказать даже, что треніе составляетъ, помимо всякихъ удобствъ, прямую необходимость въ природѣ. Человѣкъ можетъ ходить, потому что ноги его испытываютъ треніе на полу; безъ тренія нельзя бы было переставить ногу впередъ, напряженіе мускуловъ обусловливало бы тогда только скольженіе обѣихъ ногъ взадъ и впередъ на одномъ и томъ же мѣстѣ. Доказательство этому мы находимъ въ трудности ходьбы по гладкому паркету или льду. Безъ тренія тѣло не могло бы лежать на подставкѣ, если бы она не была вполнѣ горизонтальна. Съ горъ должны бы были тогда скатиться всѣ тѣла, на нихъ находящіяся, и распредѣлиться на горизонтальной плоскости; остались бы только сплошныя крѣпкія скалы и горизонтальныя равнины. Чѣмъ глубже мы вникаемъ въ явленія природы и не оставляемъ безъ вниманія въ особенности тѣ дѣйствія, которыя находятся у насъ всегда передъ глазами, тѣмъ больше убѣждаемся мы въ необходимости общаго распорядка въ природѣ; очень можетъ быть, что все кажущееся намъ безполезнымъ и вреднымъ на самомъ дѣлѣ необходимо для *непрерывно поступательнаго развитія всего міра, не только въ смыслѣ одной* причинности, но и съ точки зрѣнія вѣчнаго принципа мірового устройства.



19. Нажимной динамометръ.

Тяжесть.

Сила тяжести. Галилей и Ньютонъ. Свободное паденіе. Движеніе брошеннаго тѣла. Центръ тяжести. Вѣсъ и удѣльный вѣсъ. Законъ Архимеда. Плаваніе. Метацентръ.

Съ тѣхъ поръ, какъ натурфилософы древности стали размышлять о господствующихъ въ природѣ силахъ и ихъ взаимныхъ соотношеніяхъ, прошло около двухъ тысячелѣтій, пока одинъ изслѣдователь не убѣдился, что вѣсъ тѣлъ не есть нѣчто само по себѣ понятное, а составляетъ проявленіе особой, всѣмъ тѣламъ присущей силы, которая заслуживаетъ бли-

жайшаго изученія. Всѣ тѣла на землѣ, какъ и въ міровомъ пространствѣ, подвержены силѣ тяжести или тяготѣнія; каждое тѣло притягивается всѣми другими, и въ свою очередь само притягиваетъ всѣ другія тѣла. Какъ земля притягиваетъ падающій камень, такъ и камень притягиваетъ землю, но мы наблюдаемъ только первое дѣйствіе — камень падаетъ на землю, а не наоборотъ, такъ какъ камень слишкомъ малъ относительно земли, чтобы какое-нибудь замѣтное, видимое дѣйствіе могъ онъ произвести на землю. Сила тяжести, несмотря на протекшія 200 лѣтъ со времени открытія законовъ ея дѣйствій, и теперь еще въ ея сущности менѣе изслѣдована, чѣмъ другія силы, какъ напримѣръ электрическія, которыя, казалось бы, должны были представлять болѣе сложную и трудную загадку. Относительно всѣхъ другихъ явленій, посредствомъ остроумнаго соединенія опыта и разсужденія, индуктивнаго и дедуктивнаго способовъ изслѣдованія, наука, въ особенности въ послѣднее столѣтіе, значительно подвинулась впередъ по пути изученія законовъ природы. Установлена и доказана экспериментально связь между работоспособностью, теплотою, свѣтомъ, электричествомъ и магнетизмомъ; мы можемъ всѣ такія соотвѣтствующія силы перевести одна въ другую, только къ силѣ тяжести не найдена еще дорога. Мы и теперь едва ли дальше, чѣмъ 200 лѣтъ тому назадъ, такъ какъ мы только и знаемъ закономѣрности, въ которыхъ проявляются дѣйствія этой силы; еще не найдено никакой связи между нею и другими силами природы. Нѣкоторые современные естествоиспытатели держатся того мнѣнія, что вопросъ о силѣ тяжести долженъ считаться послѣднимъ и самымъ великимъ, съ разрѣшеніемъ котораго связано окончательное познаніе всѣхъ силъ природы. Въ новѣйшее время нѣкоторыми выдающимися учеными, вооруженными современными орудіями науки, были установлены различныя теоріи тяготѣнія, но до сихъ поръ ни одна изъ нихъ не могла быть проведена логически и математически вполнѣ безупречно, а тѣмъ болѣе доказана экспериментально.

Честь открытія силы тяжести принадлежитъ Галилею и Ньютону; послѣдній собственно установилъ ея законы. Хотя и считаютъ обыкновенно, что открытіе это принадлежитъ одному Ньютону, но, какъ это всегда бываетъ, путь для великаго открытія подготовляется заранѣе предшественниками.

Уже въ XV вѣкѣ Бове (Bauvais) высказалъ положеніе, по которому камень, брошенный въ шахту, предполагаемую прорытой сквозь всю землю, черезъ центръ ея, до поверхности противоположнаго полушарія, остановился бы свободно висѣть въ центрѣ земли; очевидно названный ученый долженъ былъ имѣть понятіе о томъ, что здѣсь именно какъ бы сосредоточивается дѣйствующая на всѣ земныя тѣла сила тяжести. Галилей же задолго до Ньютона установилъ законы паденія тѣлъ. Движеніе тѣла, брошеннаго вверхъ, постепенно замедляется; Галилей показалъ, что это происходитъ отъ непрерывнаго дѣйствія силы тяжести, уменьшающей постепенно дѣйствіе первоначальнаго толчка, наконецъ совершенно его преодолѣвающей, послѣ чего уже слѣдуетъ обратное движеніе съ постоянно возрастающей быстротой. Установленные Галилеемъ законы такого движенія принимаются и теперь наукою. Галилей провѣрилъ также свои заключенія, выведенныя имъ индуктивнымъ путемъ, на опытѣ; такой способъ изслѣдованія, отличающій Галилея, какъ ученаго, отъ всѣхъ его предшественниковъ, и теперь вообще примѣняется. Онъ наблюдалъ паденіе камней съ высокихъ башенъ, какъ напр. съ колокольни въ Пизѣ; вслѣдствіе слишкомъ большихъ скоростей паденія при этомъ не оказалось возможнымъ однако измѣрять съ достаточною точностью соотвѣтствующія проходимымъ пространствамъ промежутки времени. Поэтому для замедленія скорости паденія онъ заставлялъ катиться бронзовые шары по наклонной плоскости

въ углубленіи, обложенномъ пергаментомъ, съ цѣлью уменьшить треніе. Такъ какъ наблюдаемая такимъ образомъ скорость въ зависимости отъ угла наклона находится по законамъ наклонной плоскости (выведеннымъ какъ разъ изъ этихъ же опытовъ) въ опредѣленномъ отношеніи къ той скорости, которая была бы при свободномъ паденіи тѣлъ, то Галилей могъ вычислить и эту послѣднюю скорость.

Но только Ньютонъ (Newton) въ 1686 г. впервые нашолъ основной общій законъ тяготѣнія. Исаакъ Ньютонъ родился 5 января 1643 г. въ Вульсторпѣ въ Англіи. Онъ изучалъ естественныя науки и математику въ кембриджскомъ университетѣ, куда онъ поступилъ 18 лѣтъ; достаточныя его средства позволили ему отдаться вполнѣ наукѣ. Въ 1669 г. послѣ смерти его учителя Барроу (Barrow) ему была предоставлена профессура, которую онъ сохранилъ за собою до 1703 г.; онъ занималъ кромѣ того и другія общественныя должности. Позже онъ сталъ удаляться отъ общественной жизни и уже съ 1693 прекратилъ свои научныя изслѣдованія: до самой своей смерти въ 1727 онъ занимался съ тѣхъ поръ преимущественно богословскими изысканіями. Ньютонъ еще при жизни пользовался широкою извѣстностью и вполнѣ заслуженною славою; но чрезвычайный почетъ, оказываемый англичанами своему соотечественнику, былъ причиною также и того, что ему приписывали даже и тѣ заслуги, которыя ему не принадлежали. Такъ до послѣдняго времени его считали изобрѣтателемъ дифференціальнаго и интегральнаго исчисленія; между тѣмъ по точнымъ новѣйшимъ литературнымъ изысканіямъ несомнѣнно доказано, что эта заслуга принадлежитъ нѣмецкому ученому Лейбницу. Правда, Ньютонъ предложилъ подобный же методъ исчисленія, такъ называемое флюксіонное исчисленіе, но оно далеко не было настолько совершеннымъ, какъ дифференціальное исчисленіе, и врядъ ли примѣнялось даже и самимъ Ньютономъ.



21. Исаакъ Ньютонъ.

По разсказу, занимательному, но невѣроятному, Ньютонъ былъ случайно приведенъ къ мысли о всемірномъ тяготѣніи размышленіемъ по поводу упавшаго яблока въ саду. По всей вѣроятности онъ пришелъ къ своему открытію вслѣдствіе разработки ученія Кеплера о движеніи и о времени обращеній планетъ. Эти Кеплеровы законы, развитые дальше Гюйгенсомъ (Huyghens), третьимъ выдающимся послѣдователемъ Галилея, въ основѣ своей должны

были заключать одинъ общій законъ, по которому могли быть опредѣлены движенія; Кеплеръ искалъ его безуспѣшно, Ньютонъ же нашелъ его. Что тяготѣніе обусловливается взаимнымъ притяженіемъ двухъ тѣлъ, объ этомъ было уже сказано, и это составляетъ только другое выраженіе того же самаго понятія. Ньютоновъ законъ тяготѣнія слѣдующій: сила притяженія двухъ тѣлъ пропорціональна ихъ массамъ и обратно пропорціональна квадратамъ ихъ разстояній. Прежде всего Ньютонъ провѣрилъ и подтвердилъ свой законъ на движеніи луны. Затѣмъ на основаніи новаго закона тяготѣнія онъ вывелъ законы Кеплера о движеніи планетъ и такимъ образомъ положилъ основаніе математической астрономіи. Ему удалось кромѣ того вполнѣ объяснить приливы и отливы. Оказалось послѣ этого возможнымъ не только опредѣлить путь небеснаго свѣтила по наблюденіямъ его движенія, но и предсказывать о существованіи невѣдомыхъ свѣтилъ на основаніи изученія движенія извѣстныхъ уже свѣтилъ, на которыя должны оказывать вліяніе притягательныя дѣйствія первыхъ изъ нихъ. Такимъ путемъ напримѣръ были заранѣе опредѣлены положеніе и величина планеты Нептуна, которая затѣмъ была и дѣйствительно найдена.

Такъ какъ земля шарообразна, то сила тяжести на ней всюду направлена къ ея центру; во всѣхъ почти встрѣчающихся на практикѣ случаяхъ можно относительно всѣхъ предметовъ на земной поверхности считать радіусъ земли безконечно большимъ и принимать направленія силы тяжести въ сосѣднихъ точкахъ параллельными между собою. Ближайшее примѣненіе силы тяжести встрѣчается въ уровнѣ или ватерпасѣ, употребляемыхъ между прочимъ при постройкахъ для опредѣленія отвѣсной линіи; при прорытіи очень длиннаго горнаго туннеля приходится уже принимать въ разсчетъ непараллельность отвѣсныхъ линій по обѣ его стороны. Очень большія горы оказываютъ вліяніе на силу тяжести, такъ какъ онѣ производятъ на находящіяся вблизи нихъ тѣла боковое притяженіе, отклоняющее, хотя и весьма незначительно, направленіе силы тяжести; такое отклоненіе все-таки можетъ быть опредѣлено посредствомъ крайне тщательныхъ измѣреній. Во всѣхъ же случаяхъ обыкновенной практической жизни оно не принимается въ разсчетъ. Посредствомъ такого наблюденія отклоненія отвѣса одною горою въ Шотландіи, причемъ извѣстна была масса, а слѣдовательно и вѣсъ горы, оказалось возможнымъ вычислить и массу самой земли.

Такъ какъ разница между земными радіусами въ различныхъ мѣстахъ сравнительно съ величиною самого радіуса чрезвычайно мала, несмотря на то, что земля не представляетъ вполнѣ правильнаго шара, но сплющена у полюсовъ, то въ обыденной практикѣ можно считать напряженность силы тяжести на всей землѣ одною и тою же, т.-е. можно принять, что нѣкоторая опредѣленная масса всюду вѣситъ одно и то же. Въ точности это не такъ; на экваторѣ, при наибольшемъ поперечникѣ земли, или при наибольшемъ удаленіи отъ центра, величина силы тяжести должна быть наименьшая. Строго говоря, должна быть кромѣ того принята въ разсчетъ центробѣжная сила, развивающаяся вслѣдствіе вращенія земли и противоположная притягательной силѣ. Такъ какъ каждая точка экватора движется скорѣе, чѣмъ точки высшихъ широтъ, то и сила тяжести должна быть вслѣдствіе этого не совсѣмъ одинакова въ различныхъ широтахъ. При точныхъ научныхъ изысканіяхъ *обстоятельство это принимается въ разсчетъ*; *при точныхъ изслѣдованіяхъ* для секундныхъ маятниковъ въ различныхъ широтахъ должны быть введены соотвѣтствующія поправки. Въ слѣдующей главѣ о маятникѣ будетъ сказано объ этомъ подробнѣе.

Явленія силы тяжести на другихъ небесныхъ тѣлахъ должны значительно отличаться отъ тѣхъ, которыя наблюдаются на землѣ; на солнцѣ напр. сила тяжести въ 28 разъ больше; чтобы поднять на немъ талеръ (или серебряный

рубль), нужно употребить такое усиліе, какъ на землѣ для поднятія 1 килограмма (около $2^1/_2$ фунтовъ); мы могли бы на немъ съ нашей мускульной силой подпрыгнуть всего на высоту около 5 сантиметровъ. Если мы сравнимъ подобныя же условія для какого-нибудь значительно меньшаго небеснаго тѣла, напр. для Весты, то найдемъ, что тамъ мы могли бы съ легкостью перепрыгивать черезъ высокіе дома и носить на плечахъ грузъ, соотвѣтствующій нашему товарному вагону.

Свободное паденіе и движеніе брошеннаго тѣла.

Въ безконечномъ міровомъ пространствѣ, внѣ сферъ притягательныхъ дѣйствій небесныхъ тѣлъ, всякое тѣло должно двигаться вѣчно въ одномъ и томъ же направленіи и съ тою же постоянною скоростью; на землѣ же всякое движеніе тѣла подвержено вліянію силы тяжести. Всѣ тѣла въ безвоздушномъ пространствѣ, при отсутствіи какихъ-либо толчковъ въ началѣ движенія, падаютъ съ одинаковою скоростью; свинцовый шаръ и легкое перышко, опущенные съ одинаковой высоты въ одно и то же время, достигнуть также въ одно время земли. Наблюдаемыя въ дѣйствительности весьма *различныя скорости паденія зависятъ отъ сопротивленія воздуха.* Связанная съ паденіемъ тѣла живая сила зависитъ, какъ объ этомъ уже говорилось, отъ массы, а слѣдовательно и отъ вѣса; она больше для тяжелыхъ тѣлъ, нежели для легкихъ. Сопротивленіемъ воздуха поглощается при всякомъ движеніи тѣла нѣкоторое количество энергіи; при большомъ запасѣ энергіи такая потеря повліяетъ ничтожно на измѣненіе скорости, тогда какъ при легкихъ тѣлахъ съ малою энергіей вліяніе сопротивленія воздуха можетъ быть значительнымъ. Такъ какъ самъ воздухъ обладаетъ опредѣленнымъ вѣсомъ, то тѣло, болѣе легкое, чѣмъ воздухъ (при одинаковыхъ объемахъ), будетъ уже не падать въ немъ, а напротивъ подниматься, подобно куску дерева, которое не тонетъ въ водѣ, а всплываетъ въ ней. Простой опытъ показываетъ, что вѣсъ не оказываетъ никакого вліянія на скорость паденія, если сопротивленіе воздуха сравнительно ничтожно; именно, два связанные между собою кирпича не падаютъ скорѣе, чѣмъ тѣ же два кирпича, отдѣленные другъ отъ друга. Галилей приводилъ уже этотъ примѣръ. На простомъ же опытѣ можно показать, что различныя скорости паденія обусловливаются только сопротивленіемъ воздуха. Если вырѣзать изъ бумаги кружокъ, величиною равный или немного меньшій рубля, и положить его на монету такъ, чтобы края его нигдѣ не выступали, то, опустивъ ихъ вмѣстѣ, мы замѣтимъ, что бумажный листокъ при паденіи не отстанетъ отъ монеты; если же бы край бумаги въ одномъ мѣстѣ выступалъ, то бумага при паденіи, вслѣдствіе испытуемаго ею сопротивленія воздуха, отдѣлилась бы отъ металла.

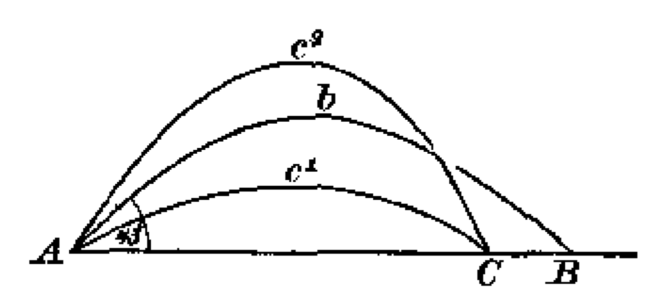
Паденіе есть движеніе равномѣрно-ускорительное; въ этомъ легко убѣдиться, такъ какъ сила тяжести непрерывно дѣйствуетъ на падающее тѣло и такимъ образомъ постепенно все увеличиваетъ скорость. Ускореніе силы тяжести составляетъ 9,81 м., т.-е. если тѣло свободно падаетъ съ начальною скоростью, равною 0, то по прошествіи одной секунды оно пріобрѣтаетъ скорость 9,81 м.; высота паденія за это время равняется половинѣ, именно 4,9 м. Во вторую секунду ускореніе снова будетъ 9,81 м., а скорость черезъ двѣ секунды слѣдовательно составитъ 19,62 м.; пройденный во вторую секунду путь будетъ $\frac{19{,}6+9{,}8}{2}=14{,}7$ м. и поэтому вся высота въ двѣ секунды составитъ 19,6 м.; и такимъ же образомъ дальше. Мы выводимъ отсюда общее правило: скорости черезъ 1, 2, 3 и т. д. секунды равны 9,81, умноженному на 1, 2, 3 и т. д.; высоты же паденія въ 1, 2, 3 и т. д. секунды равны 4,9 м., умноженнымъ послѣдовательно на 1, 3, 5, 7 и т. д., а вся высота паденія

составляетъ произведеніе 4,9 м. на 1^2, 2^2, 3^2 и т. д. Число 4,9 м. и вмѣстѣ съ тѣмъ и предыдущее правило относятся только для земли.

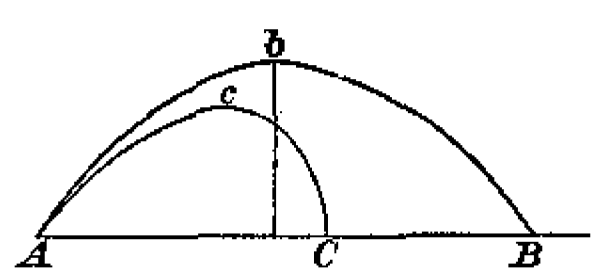
При паденіи тѣла въ воздухѣ равномѣрно-ускорительное движеніе превращается въ замедленно-ускорительное движеніе; чѣмъ больше будетъ скорость, тѣмъ больше будетъ и сопротивленіе воздуха, и наконецъ послѣднее сравняется съ ускореніемъ силы тяжести. Съ этого момента скорость перестанетъ возрастать, и паденіе будетъ продолжаться съ постоянною скоростью. Это произойдетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ легче тѣло. Перья, легкая пыль, туманъ падаютъ уже съ самаго начала съ постоянною скоростью; также и дождь и градъ начинаютъ падать равномѣрно, пройдя нѣкоторую значительную высоту.

Общіе законы паденія, примѣнимые и ко всѣмъ небеснымъ тѣламъ, могутъ быть выражены такимъ образомъ. Скорости въ каждый моментъ относятся между собою какъ времена паденія; высоты паденія въ каждую секунду растутъ въ отношеніи нечетныхъ чиселъ (1 : 3 : 5 : 7 и . д.); вся же пройденная тѣломъ высота пропорціональна квадрату времени паденія.

Совершенно противоположныя соотношенія, какъ для свободнаго паденія, получаются для **движенія тѣла, брошеннаго вертикально вверхъ**. Брошенное прямо вверхъ тѣло подымется на такую же высоту, съ какой оно



21. Линія движенія брошеннаго тѣла.



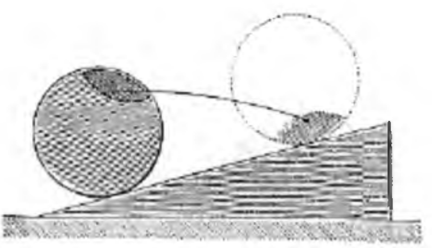
22. Баллистическая кривая.

упало бы въ то же самое время; или, другими словами, время, которое брошенное вверхъ тѣло употребитъ для достиженія наибольшей высоты, равно тому времени, которое потребуется затѣмъ для свободнаго паденія тѣла. Можно поэтому и къ вертикальному движенію вверхъ примѣнить тѣ же правила, съ надлежащими намѣненіями, что и для свободнаго паденія. Но соотношенія получаются сложнѣе для движенія тѣла, брошеннаго не прямо вверхъ, а по какому-нибудь другому направленію. Но и при этомъ, помимо сопротивленія воздуха, будутъ дѣйствовать тѣ же обѣ силы, первоначальный толчокъ и постоянная сила тяжести. Разница въ томъ, что при вертикальномъ движеніи обѣ силы противоположны, и сложеніе ихъ легко принимается въ разсчетъ, между тѣмъ какъ при наклонномъ движеніи для каждой точки пути, а слѣдовательно и для каждаго момента времени полета, долженъ быть построенъ особый параллелограммъ.

Оставляя въ сторонѣ математическіе выводы, мы замѣтимъ только, что путь брошеннаго тѣла при отсутствіи сопротивленія воздуха, т.-е. въ безвоздушномъ пространствѣ, представляетъ собою параболу. На рис. 21 представлены подобные пути линіями AbB, Ac^1C и Ac^2C; относительно наивысшихъ точекъ b, c^1 и c^2, или такъ называемыхъ кульминаціонныхъ точекъ, пути по обѣ стороны одинаковой длины и одинаковаго вида, т.-е. симметричны. Высота подъема такъ же, какъ и длина и форма пути, зависятъ отъ начальной скорости и отъ угла, составленнаго первоначальнымъ направленіемъ движенія съ горизонтальной плоскостью. Высота и дальность полета возрастаютъ въ отношеніи квадрата начальной скорости. При нѣкоторой опредѣленной начальной скорости тѣло пролетаетъ наибольшее разстояніе, когда уголъ подъема 45°; при всѣхъ же другихъ углахъ разстоянія короче, и притомъ они равны между собою, когда углы на одинаковое число граду-

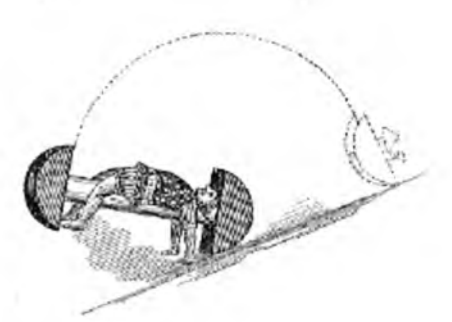
совъ больше и меньше, чѣмъ 45°; напр. на чертежѣ 21 пути Ac^2C и Ac^1C имѣютъ углы подъема $45^\circ + 20^\circ = 65^\circ$ и $45^\circ - 20^\circ = 25^\circ$.

Дѣйствительная же линія полета, такъ называемая баллистическая кривая, значительно отличается отъ теоретической параболической линіи вслѣдствіе вліянія сопротивленія воздуха; на чертежѣ 22 AbB представляетъ параболическую линію полета, а AcC соотвѣтствующую дѣйствительности баллистическую кривую. Сопротивленіе воздуха постепенно уменьшаетъ первоначальную энергію движенія, такъ что остающаяся постоянною сила тяжести оказываетъ все большее и большее вліяніе; нисходящая вѣтвь пути полета будетъ поэтому круче, чѣмъ восходящая. Вычисленіе путей полета летательныхъ снарядовъ составляетъ предметъ особой артиллерійской науки, баллистики. Дальность полета снарядовъ изъ современныхъ гигантскихъ орудій кажется почти невѣроятною. Такъ, при опытахъ стрѣльбы снарядами въ 215 килогр. изъ 24-сантиметровой крупповской стальной пушки, посланной въ свое время на всемірную выставку въ Чикаго, дальность полета оказалась въ 20260 метровъ при наклонѣ въ 44°. Время полета равнялось 70 секундамъ, а высота подъема снаряда составляла 6500 метровъ; если бы поэтому выстрѣлъ былъ произведенъ на уровнѣ моря, то снарядъ достигъ бы наивысшей вершины Чимборазо, или же, пущенный съ St. Didier, онъ перелетѣлъ бы высоко черезъ Монбланъ.

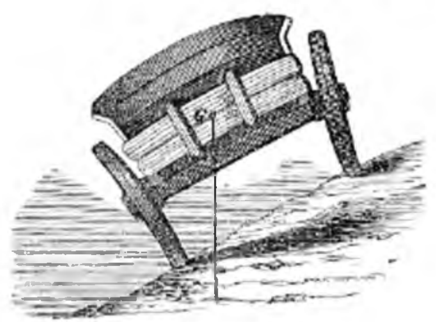


23. Равновѣсіе неоднороднаго тѣла.

Центръ тяжести. Дѣйствующія на отдѣльныя части тѣла силы тяжести, параллельныя между собою, складываясь, образуютъ вѣсъ всего тѣла;



24. Примѣръ неустойчиваго равновѣсія.

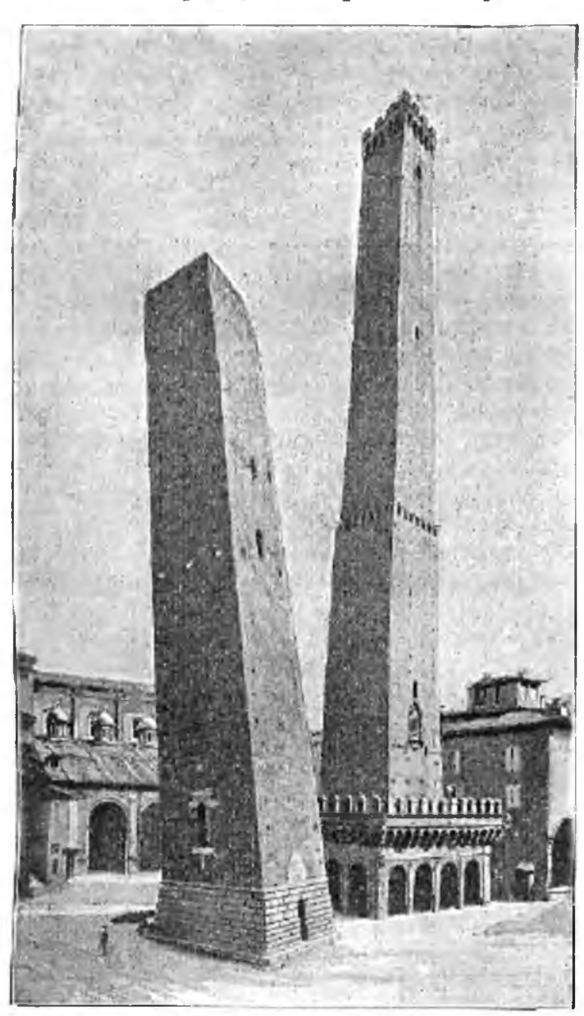


25. Достаточная подпора центра тяжести.

при сложеніи отдѣльныхъ параллельныхъ силъ получается для равнодѣйствующей ихъ точка приложенія, называемая центромъ тяжести или центромъ массы тѣла, который можно разсматривать какъ точку приложенія вѣса тѣла. Въ механикѣ каждое движеніе тѣла, при которомъ не принимаются во вниманіе вращенія тѣла около проходящей черезъ него оси, можно разсматривать какъ движенія матеріальной точки, въ которой какъ бы сосредоточивается вся масса тѣла; такимъ представленіемъ во многихъ случаяхъ достигается существенное упрощеніе задачи.

Когда тѣло подперто въ его центрѣ тяжести, то оно находится въ равновѣсіи, т.-е. оно пребываетъ въ покоѣ и не подчиняется силѣ тяжести. Смотря по взаимному положенію точки опоры и центра тяжести, различаютъ три положенія равновѣсія: неустойчивое, устойчивое и безразличное. Тѣло находится въ неустойчивомъ или подвижномъ равновѣсіи, когда при малѣйшемъ измѣненіи его положенія внѣшними силами оно теряетъ равно-

вѣсіе, опрокидывается; тогда какъ при устойчивомъ равновѣсіи послѣ дѣйствія внѣшнихъ силъ, измѣнившихъ положеніе тѣла, тѣло само собою возвращается въ первоначальное положеніе равновѣсія. Когда же тѣло остается въ равновѣсіи въ любомъ его положеніи, то оно находится въ безразличномъ состояніи равновѣсія; въ такомъ состояніи равновѣсія находится напримѣръ однородный шаръ на горизонтальной плоскости (во всякомъ его положеніи центръ тяжести находится прямо надъ точкой опоры) или пустой шаръ, плавающій на водѣ. Въ неоднородномъ тѣлѣ сила тяжести стремится опустить болѣе тяжелую часть; плавающій на водѣ кусокъ дерева, съ прикрѣпленнымъ къ нему кускомъ желѣза или свинца, принимаетъ всегда такое положеніе, чтобы тяжелыя массы находились снизу. Если круглый деревянный брусокъ, въ который съ одного края вставленъ кусокъ свинца, поставить на наклонную плоскость, какъ показано на рис. 23, то онъ вкатится на плоскость настолько, чтобы свинцовая масса очутилась бы по возможности ниже. Устройство многихъ интересныхъ игрушекъ основано на неустойчивомъ положеніи равновѣсія. На рис. 24 представлена довольно распространенная, въ особенности въ Америкѣ, игрушка, состоящая изъ фигурки, кувыркающейся на слегка наклоненной плоскости. Фигурка эта прикрѣплена къ трубкѣ, оканчивающейся съ обѣихъ сторонъ полукруглыми дощечками. Въ трубкѣ находится небольшое количество ртути; когда игрушка будетъ положена на наклонную плоскость, то ртуть перельется къ болѣе низкому концу трубки, которая, вслѣдствіе перевѣса, приподнимется. Но пріобрѣтенная живая сила опрокинетъ приборъ за положеніе его равновѣсія, ртуть поэтому перельется къ другому концу трубки и т. д.



26. Башни въ Болоньи.

Пока проведенная изъ центра тяжести тѣла отвѣсная линія приходится внутри опорной поверхности или между линій, соединяющихъ точки опоры, тѣло находится въ устойчивомъ равновѣсіи. Для прочнаго положенія тѣла необходимы по крайней мѣрѣ три опорныя точки, не лежащія на одной прямой линіи. Тѣло можетъ впрочемъ поддерживаться въ равновѣсіи и на одной опорной точкѣ, какъ это показываютъ въ циркѣ жонглёры, баланси-

рующіе на своей головѣ или носу бутылки или шпаги. Человѣкъ удерживаетъ себя въ равновѣсіи на двухъ ногахъ; но это должно быть изучено и требуетъ долгихъ упражненій: извѣстно съ какимъ трудомъ дѣти научаются стоять и ходить. И какъ только мы мѣняемъ нашу опору какимъ-нибудь непривычнымъ образомъ, надѣвъ напримѣръ на ноги ходули, мы убѣждаемся, что не такъ легко поддерживать равновѣсіе на двухъ опорныхъ точкахъ. Широкая и низкая повозка можетъ стоять гораздо наклоннѣе, не опрокидываясь, чѣмъ узкая и высокая, такъ какъ во второмъ случаѣ отвѣсъ изъ центра тяжести можетъ придтись уже не между колесами, тогда какъ въ первомъ случаѣ онъ будетъ находиться между ними, какъ это видно на рис. 25. Наклонныя башни въ Пизѣ и Болоньи всѣмъ извѣстны; на рис. 26 изображена площадь въ Болоньи съ двумя такими башнями, кажущимися сомнительной прочности; между тѣмъ, если изслѣдовать ихъ прочность, то окажется, что опущенныя изъ ихъ центровъ тяжести отвѣсныя линіи достигаютъ земли внутри ихъ стѣнъ, слѣдовательно башнямъ этимъ не угрожаетъ никакая опасность паденія. Неизвѣстно вполнѣ, построены ли были эти удивительныя башни такими кривыми по странной идеѣ средневѣковыхъ архитекторовъ, желавшихъ создать нѣчто оригинальное и поразительное; возможно, что башни построены были прямыми и только впослѣдствіи покосились, вслѣдствіе неравномѣрной, односторонней осадки. Меньшая изъ двухъ башенъ въ Болоньи построена около 1112 года и названа по имени строителя ея Гаризенда; высота ея 49 метровъ и отклоняется она отъ отвѣса на 2,4 метра. Большая, названная Азинелли (также по имени строителя), высотою въ 97 метровъ и отступаетъ на 1,23 метра. По преданію обѣ башни были построены въ тѣ неспокойныя, воинственныя времена, какъ крѣпостныя укрѣпленія для защиты и сопротивленія. На большую башню подымаются по ея 447 ступенямъ путешественники, чтобы любоваться открывающимся съ нея прекраснымъ видомъ на городъ, на его окрестности и на Апеннины. Обломиться по стѣнному шву такая башня не можетъ такъ же, какъ и свалиться; наиболѣе опасное мѣсто приходится около самой земли. Принимая во вниманіе отдѣльныя части башни кверху отъ разсматриваемыхъ швовъ, мы замѣтимъ, что отвѣсы изъ ихъ центровъ тяжести падаютъ все ближе и ближе къ серединѣ; прочность становится кверху слѣдовательно все больше, а не меньше.

Опредѣленіе центровъ тяжести поверхностей и тѣлъ производится или посредствомъ опыта, или же математическимъ путемъ. Въ геометрически правильныхъ фигурахъ и тѣлахъ центръ тяжести лежитъ въ ихъ серединѣ.

Вѣсъ и удѣльный вѣсъ.

Мѣрою вѣса тѣла служитъ килограммъ съ его подраздѣленіями; еще большую единицу составляетъ тонна (t) = 1000 килогр. Килограммъ равняется вѣсу одного кубическаго дециметра (литра) дистиллированной воды при температурѣ +4° С. Эта температура въ 4° (Цельзія) выбрана потому, что при ней вода имѣетъ наибольшую плотность, а также и вѣсъ. Для обыденныхъ цѣлей достаточно опредѣленія: 1 килогр. есть вѣсъ 1 литра воды при обыкновенной температурѣ, такъ какъ разница въ нѣсколько градусахъ температуры оказываетъ незначительное вліяніе на вѣсъ. При точныхъ же взвѣшиваніяхъ должно принимать въ разсчетъ вліянія какъ температуры, такъ и другихъ условій, напримѣръ атмосферное давленіе, влажность.

Объ устройствѣ обыкновенныхъ и техническихъ вѣсовъ, какъ основанныхъ на примѣненіи законовъ рычага, сказано въ одной изъ слѣдующихъ главъ этого отдѣла, а научные вѣсы и способы точнаго взвѣшиванія описаны въ особомъ отдѣлѣ II части.

Вѣсъ тѣла зависитъ отъ заключающагося въ немъ количества вещества (массы) и отъ ускоренія силы тяжести, или отъ напряженности силы тяжести въ данномъ мѣстѣ, и равняется произведенію изъ массы на ускореніе силы тяжести. Такъ какъ это ускореніе, какъ мы увидимъ еще дальше, не одинаково въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности, то и вѣсъ одного и того же тѣла не постояненъ, но замѣтно мѣняется въ зависимости отъ высоты и широты мѣста. Въ обыденной жизни и въ техникѣ такое измѣненіе не имѣетъ значенія, такъ какъ во-первыхъ оно ничтожно, а во-вторыхъ на практикѣ, при употребленіи обыкновенныхъ вѣсовъ, оно и совсѣмъ не имѣетъ мѣста, вслѣдствіе того, что и гири испытываютъ такія же измѣненія, какъ и само взвѣшиваемое тѣло.

Совершенно отличенъ отъ вѣса тѣла **удѣльный вѣсъ** его. Подъ удѣльнымъ вѣсомъ подразумѣваютъ отношеніе плотности тѣла къ плотности чистой воды при температурѣ 4° С., принимаемой за единицу; въ собственномъ смыслѣ слова это вовсе не вѣсъ, а просто нѣкоторое отвлеченное число. Плотность же тѣла опредѣляется въ свою очередь какъ отношеніе массы тѣла къ его объему. Плотность въ этомъ точномъ научномъ смыслѣ не надо поэтому смѣшивать съ понятіемъ о плотности, установившемся въ обыденной жизни. Въ послѣднемъ смыслѣ напримѣръ предполагается, что дерево плотнѣе песка, состоящаго изъ многихъ отдѣльныхъ частичекъ; несмотря на это, нѣкоторый опредѣленный объемъ песку на самомъ дѣлѣ обладаетъ большею плотностью и большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, чѣмъ кусокъ сплошного дерева такого же объема, такъ какъ масса песка больше.

Какъ упомянуто, за единицы принимаются плотность и удѣльный вѣсъ воды, хотя только для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Для газовъ числа, отнесенныя къ водѣ, получаются слишкомъ малыя; поэтому для газовъ принимается за единицу удѣльный вѣсъ водорода или воздуха.

На основаніи вышеизложенной связи между плотностью и вѣсомъ мы имѣемъ также простую прямую зависимость между удѣльнымъ вѣсомъ и вѣсомъ тѣла. Мы можемъ поэтому, оставивъ въ сторонѣ понятія о плотности, считать за удѣльный вѣсъ тѣла отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу такого же объема чистой воды при 4° С.; тѣло, обладающее удѣльнымъ вѣсомъ 5, въ пять разъ тяжелѣе такого же объема воды; такъ какъ 1 куб. децим. воды заключаетъ массу въ 1 килогр. или вѣситъ 1 килогр., то данное тѣло въ 1 куб. децим. вѣситъ 5 килогр. Или, наоборотъ, если вѣсъ тѣла 3 килогр., а объемъ его 2 куб. децим., то его удѣльный вѣсъ равняется $^3/_2$ или 1,5.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены удѣльные вѣса нѣкоторыхъ часто встрѣчаемыхъ въ практической жизни тѣлъ:

Чугунъ	7,25	Серебро	10,1—10,6
Желѣзо	7,6	Камни, кварцъ, песчаникъ, гранитъ, базальтъ	2,5—2,8
Сталь	7,82—7,87	*Глинистая земля*	1,9—2,1
Свинецъ	*11,6*	Песчаная земля	1,3—1,6
Ртуть	13,6—14	Песокъ	1,6—1,9
Мѣдь	8,8—8,9	Кирпичъ	1,5—1,6
Латунь	8,4	Сухое хвойное дерево	0,55
Олово	7,3	Сухое лиственное дерево	0,66
Цинкъ	7		
Золото	19,3		

Понятіе объ удѣльномъ вѣсѣ установлено уже было Архимедомъ. По этому поводу Витрувій сообщилъ слѣдующее интересное сказаніе: Сиракузскій царь Гіеронъ отдалъ мастеру для передѣлки свою золотую корону и нѣкоторое количество золота. Когда готовая корона была возвращена царю обратно, то въ немъ запало сомнѣніе, не присвоилъ ли себѣ мастеръ часть золота, замѣнивъ его какимъ-нибудь менѣе цѣннымъ металломъ, такъ чтобы общій вѣсъ короны остался тѣмъ же самымъ. Надо было узнать это, не

повредивъ короны. Придворные ученые царя не могли дать совѣта въ этомъ *трудномъ дѣлѣ, почему былъ призванъ для рѣшенія вопроса* Архимедъ, извѣстный своими большими познаніями въ механикѣ. Но и Архимеду такая задача, изслѣдовать предметъ, не видя его внутренняго устройства, показалась сперва трудною. Онъ сталъ размышлять объ этомъ и однажды во время купанья ему сразу блеснула мысль о возможности рѣшенія предложенной задачи. Садясь въ ванну, онъ обратилъ вниманіе на вытѣсненіе въ ней его тѣломъ воды, что его сразу навело на мысль объ удѣльномъ вѣсѣ и объ опредѣленіи помощью его объема. Въ восторгѣ отъ своего открытія, онъ побѣжалъ, не одѣваясь, домой, крича эврика, эврика! (нашелъ, нашелъ). Погрузивъ корону въ воду, Архимедъ могъ узнать ея объемъ по объему вытѣсненной ею воды. Раздѣливъ же вѣсъ ея на объемъ, онъ могъ получить удѣльный вѣсъ ея. Полученное число должно быть такое же, какое дало бы измѣреніе, произведенное съ брускомъ чистаго золота. Если бы удѣльный вѣсъ короны оказался бы менѣе послѣдняго числа (19,з), то это показало бы, что въ коронѣ къ золоту примѣшанъ какой-либо менѣе его плотный металлъ. Разсказчикъ прибавляетъ, что Архимедъ настолько радъ былъ своему открытію, что въ благодарность онъ принесъ въ жертву Зевсу 100 быковъ и съ тѣхъ поръ будто бы быки всегда трясутся при всякомъ открытіи новой истины.

Той же цѣли, опредѣленія удѣльнаго вѣса тѣла, можно достигнуть и другимъ образомъ. Если свѣсить тѣло въ воздухѣ, а затѣмъ, погрузивъ его въ воду, узнать его вѣсъ въ водѣ, то разность этихъ вѣсовъ, т.-е. потеря вѣса тѣла въ водѣ, будетъ равна вѣсу вытѣсненной тѣломъ воды. Объяснить себѣ это можно такимъ образомъ: представимъ себѣ внутри жидкости нѣкоторый объемъ ея; такъ какъ при равновѣсіи эта часть жидкости, несмотря на ея вѣсъ, не опускается, то очевидно, что она испытываетъ снизу вверхъ давленіе, равное ея вѣсу; если теперь положимъ, что этотъ выдѣленный нами мысленно объемъ замѣненъ какимъ-нибудь тѣломъ, то и это тѣло слѣдовательно будетъ испытывать такое же давленіе снизу вверхъ, т.-е. вѣсъ его будетъ какъ бы уменьшенъ на вѣсъ вытѣсненной имъ жидкости. Въ этомъ и состоитъ Архимедовъ законъ, по которому слѣдовательно всякое тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость. На этомъ основаніи мы получимъ удѣльный вѣсъ тѣла, *раздѣливъ вѣсъ тѣла на потерю его вѣса въ водѣ* (т.-е. *вѣсъ воды такого же* объема). Если бы мы взяли для опыта дерево, то встрѣтились бы при этомъ съ новымъ явленіемъ. Удѣльный вѣсъ дерева менѣе 1, т.-е. оно легче воды; какимъ же образомъ оно можетъ потерять въ своемъ вѣсѣ болѣе, чѣмъ вѣситъ оно само? Здѣсь мы встрѣчаемся съ понятіемъ о плаваніи. Дерево погружается въ воду не всей массой, а настолько, что вѣсъ его равняется вѣсу вытѣсненной воды. Такимъ образомъ дерево какъ бы вовсе теряетъ свой вѣсъ и поэтому плаваетъ на водѣ; здѣсь имѣется даже перевѣсъ со стороны давленія воды снизу вверхъ, такъ какъ нѣкоторая часть дерева остается надъ поверхностью воды. Подвѣсивъ къ куску дерева какія-нибудь тяжелыя тѣла, можно преодолѣть этотъ перевѣсъ и погрузить дерево совсѣмъ въ воду.

Человѣческое тѣло вообще вѣситъ столько же, сколько равнаго ему объема вода, большею частью оно даже легче; поэтому оно можетъ плавать, причемъ нѣкоторая часть его будетъ находиться надъ поверхностью воды. Такимъ образомъ человѣкъ можетъ держаться на водѣ, спокойно лежа на поверхности такъ, чтобы выступали наружу только ротъ и носъ (рис. 27). На самомъ дѣлѣ такое лежаніе на водѣ рѣдко кому удается, такъ какъ вслѣдствіе боязни не соблюдается главное условіе для этого — спокойствіе.

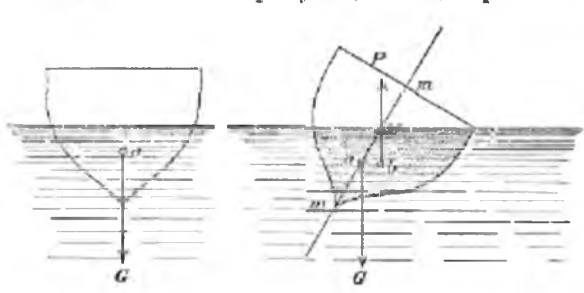
Центръ тяжести въ условіи равновѣсія плавающаго тѣла имѣетъ другое значеніе, чѣмъ въ случаѣ тѣла, покоющагося на какой-либо подставкѣ. Въ однородномъ плавающемъ тѣлѣ центръ тяжести всегда находится выше центра тяжести вытѣсненной воды; изъ различныхъ возможныхъ положеній тѣла наиболѣе устойчивое изъ нихъ то, при которомъ разстояніе между упомянутыми центрами тяжести наименьшее. Такъ плавающій деревянный брусокъ, высота котораго больше его поперечника, будетъ болѣе устойчивъ въ лежачемъ положеніи, чѣмъ въ стоячемъ. Въ особенности при постройкѣ судовъ и главнымъ образомъ при ихъ нагрузкѣ приходится принимать въ разсчетъ устойчивость. При наибольшемъ даже наклонѣ, который можетъ принять судно во время бури, давленіе воды должно дѣйствовать такъ, чтобы снова поставить его прямо, а не увеличить его наклонъ.



27. Свободно плавающее тѣло.

На рис. 28 представленъ поперечный разрѣзъ судна; центръ тяжести его a. Въ наклонномъ положеніи судна (рис. 29) точка приложенія давленія P вытѣсненной воды находится въ центрѣ ея тяжести b. Въ такомъ случаѣ судно стремится встать прямо, потому что давленіе P направлено вверхъ въ сторону, противоположную наклоненію. Точка пересѣченія M направленія давленія P съ вертикальною линіею, проходящею черезъ центръ тяжести a въ нормальномъ положеніи судна (т.-е. съ вертикальною осью судна), называется **метацентромъ** судна.

Какъ видно на рисункѣ, метацентръ находится надъ центромъ тяжести и это составляетъ условіе для устойчивости судна. Чѣмъ ниже лежитъ центръ тяжести судна, тѣмъ оно устойчивѣе, тѣмъ больше его стремленіе удержать свое нормальное положеніе. На паровыхъ судахъ центръ тяжести лежитъ низко уже вслѣдствіе того, что машина и котелъ, а также каменный уголь помѣщаются въ нижнихъ ихъ частяхъ. Вообще же стараются нагрузку или балластъ помѣстить какъ можно ниже.



28 и 29. Метацентръ.

Способы опредѣленія удѣльнаго вѣса. Методы измѣреній удѣльныхъ вѣсовъ тѣла основываются на гидростатическомъ давленіи. Ближайшій прямой способъ опредѣленія плотности и удѣльнаго вѣса тѣлъ заключается, по предыдущему, въ томъ, что находятъ вѣсъ тѣла, выраженный напр. въ килограммахъ, и объемъ его въ дециметрахъ и дѣлять первый на второй. Такъ какъ непосредственно точное опредѣленіе объема представляетъ нѣкоторыя практическія затрудненія, а часто и невозможно, то для данной цѣли пользуются закономъ Архимеда.

Гидростатическое взвѣшиваніе состоитъ въ томъ, что данное тѣло, подвѣшенное на тонкой нити къ чашкѣ вѣсовъ, сперва взвѣшиваютъ въ воздухѣ (p), а затѣмъ, погрузивъ его въ воду, опредѣляютъ вѣсъ его въ водѣ (p′); разность этихъ вѣсовъ равняется вѣсу вытѣсненной воды, т.-е.

$p - p' = q$. Раздѣливъ абсолютный вѣсъ тѣла (p) на вѣсъ (q) равнаго ему объема воды, мы и получимъ искомый удѣльный вѣсъ.

При точныхъ научныхъ опредѣленіяхъ вѣса тѣла принимается въ разсчетъ также потеря вѣса тѣла, равная вѣсу вытѣсненнаго имъ воздуха.

Когда тѣло легче воды, почему оно не можетъ быть совсѣмъ погружено, то, взвѣсивъ его сперва въ воздухѣ (p), привязываютъ къ нему какое-либо тяжелое тѣло, напримѣръ кусокъ свинца, потеря вѣса котораго въ водѣ опредѣлена уже заранѣе (q'), и опредѣляютъ ихъ общую потерю вѣса (q'') при погруженіи обоихъ тѣлъ заразъ въ воду. Тогда искомый удѣльный вѣсъ тѣла будетъ $p : (q'' - q')$, такъ какъ $q'' - q'$ представляетъ вѣсъ вытѣсненной тѣломъ воды, потому что q'' вѣсъ воды, вытѣсненный и тѣломъ и свинцомъ, q' же вѣсъ воды, вытѣсненный однимъ только свинцомъ.

Если испытуемое тѣло растворимо въ водѣ, то опредѣляютъ сперва его удѣльный вѣсъ s относительно другой какой-либо жидкости, въ которой данное тѣло не растворяется; затѣмъ опредѣляется удѣльный вѣсъ s' взятой жидкости относительно воды. Искомый удѣльный вѣсъ тѣла будетъ тогда равенъ произведенію $s \cdot s'$.

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкости берется нѣкоторое вспомогательное твердое тѣло и узнаютъ потерю вѣса его q и q' въ водѣ и въ данной жидкости. Искомый удѣльный вѣсъ этой жидкости будетъ равенъ тогда q'/q. Можно опредѣлить удѣльный вѣсъ жидкости и непосредственно, взвѣсивъ одинаковые объемы этой жидкости и воды и взявъ отношеніе полученныхъ вѣсовъ; стеклянный сосудъ съ тонкимъ горлышкомъ, служащій для этой цѣли, и въ который наливаются испытуемыя жидкости, называется пикнометромъ.

Гораздо проще можно опредѣлить удѣльный вѣсъ жидкости помощью ареометра; при этомъ сравниваются между собою не вѣса одинаковыхъ объемовъ, какъ при гидростатическомъ взвѣшиваніи, а напротивъ объемы одинаковыхъ вѣсовъ (массъ), что очевидно приводитъ къ тому же результату, такъ какъ при одинаковыхъ вѣсовыхъ количествахъ двухъ тѣлъ ихъ удѣльные вѣса относятся между собою обратно какъ объемы. Ареометръ (рис. 30) состоитъ вообще изъ стеклянной трубки, запаянной съ обоихъ концовъ; въ нижней ея части находится ртуть или дробь для того, чтобы трубка плавала въ жидкости вертикально, причемъ нѣкоторая часть ея выступала бы наружу. По закону Архимеда, вѣсъ плавающаго тѣла (ареометра) долженъ равняться вѣсу вытѣсненной жидкости. При погруженіи ареометра въ жидкости различныхъ плотностей вытѣсненные имъ объемы слѣдовательно должны быть различные, и притомъ они должны быть обратно пропорціональны плотностямъ или удѣльнымъ вѣсамъ жидкостей, въ менѣе плотной жидкости ареометръ погружается поэтому глубже, чѣмъ въ болѣе плотной жидкости. Если ширина трубки по всей ея длинѣ вездѣ одинакова, то вытѣсняемые объемы относятся между собою, какъ длины погружаемыхъ ея частей; можно слѣдовательно опредѣлять удѣльный вѣсъ жидкости прямо по этимъ длинамъ. На самомъ дѣлѣ ареометрическая трубка дѣлается внизу расширенною (рис. 30). Нагрузка ареометра должна быть такъ разсчитана, чтобы во всѣхъ жидкостяхъ, для которыхъ онъ предназначенъ, расширенная его часть вполнѣ погружалась. Дѣленія на верхней части трубки можно обозначить числами такимъ образомъ, чтобы они прямо показывали искомый удѣльный вѣсъ. Можно также для нѣкоторыхъ жидкостей или растворовъ, напримѣръ для спирта, сѣрной кислоты, шкалу раздѣлить такъ, чтобы она указывала процентное содержаніе. Извѣстное практическое примѣненіе ареометра составляетъ между прочимъ такъ называемые молочные вѣсы. Цѣль-



30. Ареометръ.

ное молоко, содержащее въ себѣ жировыя частички (сливки), обладаетъ меньшимъ удѣльнымъ вѣсомъ, чѣмъ снятое или разбавленное водою; посредствомъ надлежащимъ образомъ раздѣленнаго ареометра можно слѣдовательно судить о доброкачественности молока.

Кромѣ упомянутыхъ ареометровъ съ шкалами устроиваются еще такъ называемые **вѣсовые ареометры** для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Вѣсовой ареометръ основанъ также на гидростатическомъ давленіи. Онъ состоитъ изъ стекляннаго или латуннаго сосуда съ двумя чашечками, наверху и внизу, для взвѣшиванія испытуемаго тѣла на воздухѣ и въ водѣ. На стержнѣ, поддерживающемъ верхнюю чашку, имѣется черточка, до которой, посредствомъ соотвѣтствующей нагрузки, приборъ во время опыта долженъ быть погруженъ въ водѣ. Зная эту нагрузку, можно опредѣлить вѣсъ тѣла, если положить его на чашку и добавить столько гирекъ, чтобы ареометръ опустился до упомянутой черты; вѣсъ тѣла будетъ тогда равенъ разности вѣсовъ первоначальной нагрузки и гирекъ. Удѣльный вѣсъ тѣла опредѣлится при этомъ такъ же, какъ и при обыкновенномъ гидростатическомъ взвѣшиваніи.

Помощью такого вѣсового ареометра можетъ быть опредѣленъ удѣльный вѣсъ и жидкости. Для этой цѣли узнаютъ сперва вѣсъ самаго ареометра (P), а затѣмъ, опустивъ его поочередно въ воду и испытуемую жидкость, накладываютъ на верхнюю чашку гирьки p и q, погружающія приборъ до намѣченной черты. Тогда $P + p$ будетъ выражать вѣсъ вытѣсненной воды, а $P + q$ вѣсъ вытѣсненной (такого же объема) жидкости. Поэтому искомый удѣльный вѣсъ жидкости будетъ равенъ отношенію $(P + q) : (P + p)$.

Удѣльный вѣсъ газовъ опредѣляется посредствомъ взвѣшиванія одинаковыхъ объемовъ газа и воды или воздуха, смотря по тому, къ чему требуется его отнести. Для этой цѣли сперва взвѣшиваютъ пустой стеклянный шаръ (съ краномъ), въ которомъ помощью насоса по возможности выкачанъ почти весь воздухъ; затѣмъ вводится въ шаръ испытуемый газъ такъ же, какъ потомъ и воздухъ, и снова производятся взвѣшиванія. Вычтя изъ полученныхъ послѣднихъ результатовъ вѣсъ пустого шара, мы и получимъ вѣса одного и того же объема газа и воздуха, отношеніе которыхъ и даетъ искомый удѣльный вѣсъ газа относительно воздуха. Если бы требовалось узнать удѣльный вѣсъ газа по отношенію къ водѣ, то слѣдовало бы взвѣсить тотъ же шаръ, наполненный водой. Но такъ какъ удѣльный вѣсъ воздуха уже извѣстенъ, то можно и простымъ вычисленіемъ отнести удѣльный вѣсъ газа къ водѣ, вмѣсто воздуха.

Такъ какъ газы, подобно жидкостямъ, производитъ давленіе снизу вверхъ на тѣла, въ нихъ находящіяся, то можно бы было и къ нимъ примѣнить способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса, основанный прямо на законѣ Архимеда. Для этой цѣли можно бы было помѣстить чувствительные вѣсы, къ одному плечу коромысла которыхъ подвѣшенъ запаянный стеклянный шаръ, подъ колоколъ хорошаго воздушнаго насоса. Если бы вѣсы были уравновѣшены въ пустомъ пространствѣ, то при впускѣ подъ колоколъ испытуемаго газа шаръ, вслѣдствіе упомянутаго давленія, испыталъ бы нѣкоторую потерю въ своемъ вѣсѣ, равную вѣсу вытѣсняемаго имъ газа; если затѣмъ опредѣлить такимъ же образомъ его потерю въ вѣсѣ въ воздухѣ, то отношеніе этихъ двухъ потерь и дастъ искомый удѣльный вѣсъ газа относительно воздуха.

Маятникъ и его примѣненія.

Открытіе Галилеемъ законовъ колебаній маятника. Маятники математическій и физическій. Опытъ Фуко. Маятничные часы Галилея и Гюйгенса. Уравнительный маятникъ. Оборотный маятникъ. Опредѣленіе напряженія силы тяжести и плотности земли посредствомъ маятника

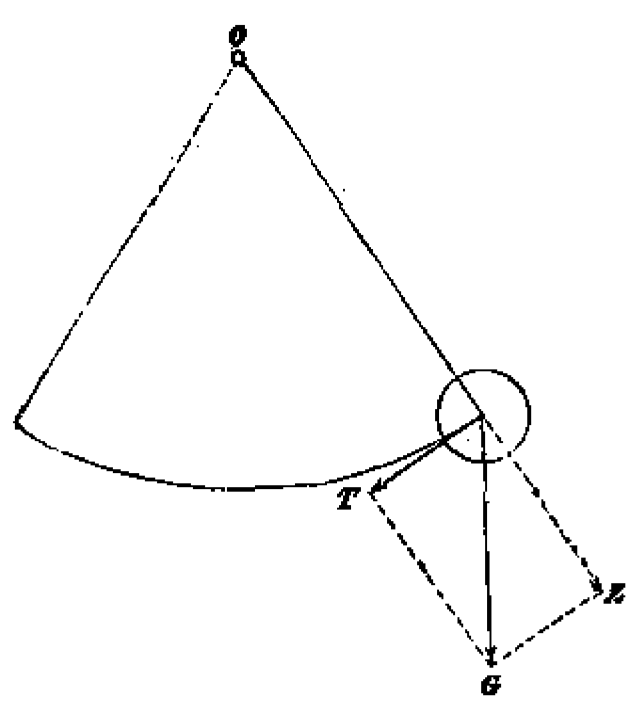
Открытіемъ законовъ колебаній маятника, какъ и многими весьма важными пріобрѣтеніями въ области естествознанія, мы обязаны великому Га-

лилею, о жизни котораго кое-что уже было сообщено въ одной изъ предшествующихъ главъ. Съ открытіемъ Галилея, какъ и со многими другими замѣчательными открытіями, связано преданіе, которое, если и справедливо приписываетъ дѣло случаю, нисколько этимъ не умаляетъ заслуги Галилея. Секретъ превосходства и успѣха изслѣдованій великихъ людей въ томъ и состоитъ, что они находятъ предметъ для своихъ работъ въ явленіяхъ природы, съ которыми большинство сталкивается изо-дня-въ-день, въ продолженіе цѣлыхъ столѣтій, и, не вдумываясь въ нихъ, безучастно проходитъ мимо, тогда какъ великій изслѣдователь распознаетъ въ нихъ выраженіе основъ, достойныхъ изученія. Должно же было такъ случиться, что двадцатилѣтній Галилей, находясь на богослуженіи въ Пизанскомъ соборѣ, заинтересовался тѣмъ, что бронзовая лампа, висѣвшая на канатѣ подъ однимъ изъ большихъ сводовъ собора, случайно придя въ движеніе, раскачивается изъ стороны въ сторону. Она медленно и плавно качается на канатѣ передъ алтаремъ въ пространствѣ, наполненномъ кадильнымъ дымомъ и звуками органа, и, къ удивленію своему, Галилей замѣчаетъ, отсчитывая удары пульса, что время одного колебанія остается то же, хотя самыя колебанія становятся все меньше и меньше. Наблюденія эти побудили Галилея приступить къ изслѣдованіямъ; онъ сразу почувствовалъ, какія важныя слѣдствія можно извлечь изъ сдѣланнаго имъ открытія. Галилей тогда занимался медициной, и первой его мыслью было примѣнить его къ измѣренію числа біеній пульса. Задолго еще до того у больныхъ наблюдали пульсъ, но не знали, какъ измѣрить біеніе пульса или сосчитать число ударовъ за опредѣленный промежутокъ времени. Галилей нашелъ удобное средство воспользоваться для этого маятникомъ, чего и достигъ самымъ простымъ способомъ, по желанію удлиняя его или укорачивая. Такимъ образомъ согласовали колебанія маятника съ біеніемъ пульса и выражались напримѣръ такъ: пульсъ больного лихорадкой измѣряется 6 дюймами и 3 линіями (это обозначаетъ, что удары его пульса такъ же часты, какъ колебанія маятника, длиною 6 дюймовъ и 3 линіи). Теперь бы сказали: пульсъ даетъ 140 ударовъ въ минуту. Затѣмъ Галилей путемъ опыта установилъ главный законъ колебаній маятника. Математическая же обработка и дальнѣйшее развитіе этихъ законовъ были выполнены Гюйгенсомъ.

Понятіе о маятникѣ каждому хорошо извѣстно изъ употребленія стѣнныхъ часовъ. Онъ представляетъ изъ себя тѣло, подвѣшенное въ нѣкоторой точкѣ при помощи шнура или легкаго стержня, по возможности удобоподвижно, такъ, чтобы оно могло совершать колебанія около этой точки. Подъ *математическимъ маятникомъ* подразумѣваютъ такой, въ которомъ вся масса тѣла находится въ одной точкѣ, и подвѣсъ осуществляется при помощи совершенно невѣсомой нити. Эти предположенія введены для того, чтобы, разсматривая вопросъ съ математической точки зрѣнія, можно было не принимать во вниманіе сопротивленія воздуха при движеніи тѣла и пренебречь вѣсомъ самой нити. На самомъ дѣлѣ нельзя себѣ представить маятника, удовлетворяющаго этимъ условіямъ. Грузъ всегда будетъ занимать нѣкоторое мѣсто въ пространствѣ, и кромѣ того, двигаясь въ воздухѣ, онъ, равно какъ и шнуръ, служащій для привѣса, будь это даже тончайшая коконовая нить, испытываетъ сопротивленіе, оказывающее вліяніе на закономѣрность вычисленнаго математически движенія. Всѣ дѣйствительно существующіе маятники, въ противоположность воображаемымъ математическимъ, называются *физическими*.

Законы колебаній маятника представляютъ особый случай примѣненія законовъ свободнаго паденія тѣлъ. Маятникъ, приведенный въ движеніе, падаетъ съ нѣкотораго начальнаго положенія (высшей точки линіи движенія) въ низшее, среднее положеніе (положеніе покоя) съ возрастающей скоростью,

причемъ, вслѣдствіе подвѣса, является несвободное движеніе по кругу. Достигнувъ низшей точки, маятникъ продолжаетъ двигаться по инерціи, но теперь сила тяжести будетъ все уменьшать скорость до тѣхъ поръ, пока онъ не достигнетъ высшей точки, лежащей на томъ же уровнѣ, съ котораго началось паденіе, но съ противоположной стороны начнется движеніе въ другую сторону и т. д. Такъ какъ энергія тратится только на преодолѣніе сопротивленія воздуха и треніе въ точкѣ опоры, то маятникъ значительное время будетъ колебаться, прежде чѣмъ возвратится къ состоянію покоя. Наибольшая скорость будетъ при прохожденіи чрезъ среднее положеніе. Какъ видно изъ рис. 31, законъ движенія маятника можемъ вывести, примѣняя къ силѣ тяжести разложеніе по правилу параллелограмма. На маятникъ, совершающій колебанія около точки привѣса O, дѣйствуетъ сила тяжести G, направленная вертикально внизъ. Эта сила разлагается на силу натяженія Z, дѣйствующую по направленію шнура или стержня, служащаго для привѣса, и силу T, направленную по касательной къ линіи движенія. Направленіе послѣдней измѣняется, такъ какъ въ каждый моментъ она направляется по касательной въ различныхъ точкахъ дуги. Вслѣдствіе того, что ускореніе силы тяжести G остается для всѣхъ тѣлъ, независимо отъ ихъ вѣса, постоянно=9,81 м. въ сек., то также тангенціальная составляющая T, а вмѣстѣ съ тѣмъ и движеніе маятника не зависятъ отъ его вѣса.



31. Маятникъ.

Разстояніе центра тяжести маятника отъ точки привѣса называется **длиною маятника**. Наибольшій уголъ отклоненія отъ средняго положенія — **размахомъ** или амплитудой. Перемѣщеніе маятника изъ одного крайняго положенія въ другое — **колебаніемъ**, и время, потребное на это перемѣщеніе, — **временемъ колебанія**.

Законъ колебаній маятника гласитъ: квадраты временъ колебаній двухъ маятниковъ относятся какъ длины маятниковъ; иными словами: времена колебаній относятся какъ корни квадратные изъ длины. При этомъ вѣсъ маятника, равно какъ и отклоненіе не оказываютъ вліянія на время колебанія, такъ какъ эти величины не входятъ въ предыдущія соотношенія. Если маятникъ, длиною въ 1 м., въ извѣстный промежутокъ времени дѣлаетъ 2 колебанія, то другой, длиною 4 м., сдѣлаетъ въ то же время 1 колебаніе, все равно, будетъ ли онъ тяжелѣе или легче перваго, будутъ ли размахи его больше или меньше. Колебанія маятника происходятъ всегда въ одной и той же вертикальной плоскости. На этомъ очевидномъ свойствѣ маятника основано примѣненіе его въ опытѣ, наглядно демонстрирующемъ вращеніе земли вокругъ оси.

Хотя уже много времени, какъ устранено сомнѣніе въ томъ, что земля вращается вокругъ оси, все же до половины текущаго столѣтія не удалось опытнымъ путемъ доказать это вращеніе. Затрудненіе происходитъ отъ того, что всѣ явленія на земномъ шарѣ подчинены вліянію этого вращенія. У насъ нѣтъ неподвижной точки, относительно которой мы могли бы разсматривать это вращеніе. Но на движеніе маятника вращеніе земли не вліяетъ: плоскость его колебаній сохраняетъ то же положеніе въ пространствѣ. Если земля повернется относительно этой неподвижной плоскости, то явленіе будетъ таково же, какъ если бы плоскость колебаній повернулась въ обратномъ направленіи. Фуко, физикъ парижской астрономической обсерваторіи, впервые про-

извелъ этотъ опытъ въ 1852 г. Послѣ нѣсколькихъ предварительныхъ опытовъ былъ произведенъ главный опытъ въ Пантеонѣ: подъ куполомъ Пантеона на стальной проволокѣ былъ подвѣшенъ мѣдный грузъ вѣсомъ 28 кгр.; продолжительность колебанія достигала 16,4 сек. Прямо подъ точкой привѣса приходился центръ кружка, съ нанесенными на немъ дѣленіями; по краямъ его, діаметрально одна противъ другой, лежали двѣ клинообразно заостренныя горки сухого песку. Съ каждымъ колебаніемъ хребетъ горки нѣсколько сглаживался остріемъ маятника, именно на протяженіи 2,3 мм. (тогда какъ разстояніе между горками было 6 м.). За время колебанія земля, а вмѣстѣ съ ней и кружокъ поворачивались какъ разъ настолько же. Маятникъ совершалъ колебанія въ теченіе 5—6 час., постепенно уменьшая размахи, а кружокъ за то же время повернулся на 60—70°.

Послѣ публичнаго обнародованія опытовъ Фуко, возбудившихъ живой интересъ въ современникахъ, они многократно были повторяемы. Въ виду того, что для успѣха опытовъ требуется возможно выше подвѣсить грузъ большой тяжести, чтобы колебанія обладали бо́льшей энергіей и менѣе зависѣли отъ различныхъ побочныхъ обстоятельствъ, какъ-то: движенія воздуха и тренія въ точкѣ опоры, ихъ по большей части производили въ высокихъ церквахъ. Собственно для обнаруженія вращенія земли требуется маятникъ, длиною, по крайней мѣрѣ, въ 10—12 м. Опыты, произведенные въ Кёльнскомъ и Шпейерскомъ соборахъ, представляютъ наиболѣе замѣчательное выполненіе поставленной задачи по точности достигнутыхъ результатовъ.

Можно при помощи простого приспособленія воспроизвести опытъ Фуко. Маятникъ при помощи тонкаго шнура привѣшенъ къ штативу, укрѣпленному на подвижномъ дискѣ. Если маятникъ привести въ движеніе и медленно вращать дискъ, то ось этого послѣдняго будетъ поворачиваться относительно плоскости колебаній мтятника. Такимъ простымъ приспособленіемъ нельзя конечно обнаружить вращенія земли; напротивъ того самый дискъ, какъ сказано, нужно приводить въ движеніе рукояткой.

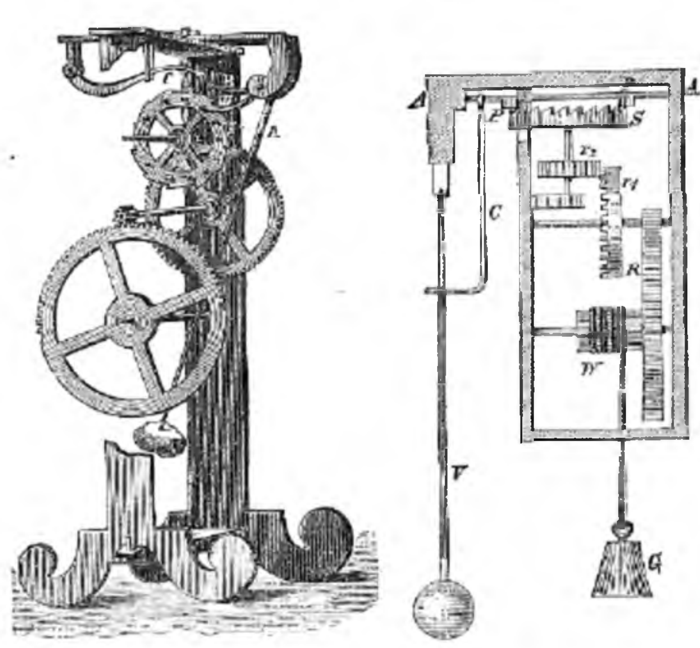
На сѣверномъ и южномъ полюсѣ маятникъ ровно въ 24 часа обнаружитъ полный поворотъ земли вокругъ оси. На экваторѣ подобнаго явленія вовсе не существуетъ, такъ какъ хотя вертикальная плоскость перемѣщается, вслѣдствіе движенія земли, но сохраняетъ постоянное направленіе по отношенію къ этому движенію. Относительно другихъ мѣстъ земного шара, въ зависимости отъ ихъ широты, легко рѣшить, въ какое время въ нашемъ опытѣ маятникъ совершитъ полный оборотъ по горизонту.

Напримѣръ для Кенигсберга это время выражается 28 час. 3 мин., для Мюнхена 31 час. 45 мин. (то же почти для Парижа), для Кайенны (вблизи экватора) 11 сутокъ $11^1/_2$ час. (для Петербурга 27 час. 45 м.; для Москвы 29 час. 20 м.).

Приведенные выше законы колебанія маятника относятся къ математическому маятнику. Нужно поставить въ заслугу голландскому математику Христіану Гюйгенсу ван-Цвилихему (жившему 1629—1695 гг.), который, какъ упомянуто было, считался однимъ изъ трехъ великихъ послѣдователей Галилея, что онъ сумѣлъ найти приспособленіе, позволившее употреблять маятникъ для точныхъ научныхъ работъ. Онъ показалъ, что слѣдуетъ только въ физическомъ маятникѣ отыскать такую точку, разстояніе которой отъ точки привѣса дало бы длину математическаго маятника, имѣющаго то же время колебанія, и эту длину принять за основную (см. ниже).

Такъ какъ по законамъ маятника продолжительность колебанія зависитъ только отъ его длины, и каждому колебанію, при опредѣленной длинѣ маятника, соотвѣтствуетъ опредѣленное время колебанія, то онъ является особенно пригоднымъ для измѣренія времени. Заслуга выясненія этого факта принадлежитъ Галилею. Имъ же изобрѣтены и первые маятничные часы.

Первоначальное устройство ихъ было значительно неудобно и едва ли примѣнимо на практикѣ, потому что маятникъ отъ времени до времени нужно было подталкивать, такъ что ихъ нельзя было назвать часами въ собственномъ смыслѣ слова. Относительно своего изобрѣтенія Галилей вступилъ въ переговоры съ Генеральными Штатами Нидерландовъ, но они остались безъ послѣдствій; голландское правительство, правда, послало ему, чтобы поддержать переговоры, золотую цѣпь, какъ знакъ своего милостиваго вниманія, но Галилей, находясь еще подъ впечатлѣніемъ инквизиціи, проживая, какъ плѣнникъ на своей виллѣ въ Арчетри вблизи Флоренціи, не осмѣлился принять такой знакъ уваженія протестантской державы. Тогда же онъ ослѣпъ, но несмотря на то не оставилъ своей идеи. По его плану сынъ его Винценціо и ученикъ Вивіани построили аппаратъ, представляющій первые маятничные часы; они изображены на рис. 32. На валу самаго нижняго колеса намотанъ шнуръ съ висящимъ на немъ грузомъ (на рисункѣ не обозначенъ), вращающимъ это колесо и при помощи зубчатаго колеса передающимъ это вращеніе другому, насаженному на верхнюю ось и снабженному заостренными съ одной стороны зубцами (такъ наз. храповое колесо). На оси маятника придѣланы одна подъ другой двѣ скобки. При размахѣ въ ту сторону, какъ представлено на рисункѣ, верхняя скобка сниметъ изогнутую пружину съ зубца храповаго колеса, нижняя захватитъ за шипъ, сбоку колеса, и такимъ образомъ задержитъ его. При движеніи маятника въ другую сторону въ его среднемъ положеніи нижняя скобка сойдетъ съ шипа и отъ сотрясенія колеса, снова пришедшаго во вращеніе, онъ получитъ толчокъ, дающій ему ходъ. Храповое колесо можетъ повернуться только на одинъ зубецъ, такъ какъ вслѣдъ затѣмъ пружинка, не сдерживаемая болѣе верхней скобкой, отошедшей въ сторону вмѣстѣ съ маятникомъ, войдетъ въ слѣдующій зубецъ. При обратномъ движеніи верхняя скобка снова подниметъ арретирующую пружинку, но опять получится перемѣщеніе только на одинъ зубецъ, потому что нижняя скобка, какъ и вначалѣ, упрется въ шипъ. Съ каждымъ колебаніемъ маятника, чему соотвѣтствуютъ одинаковые промежутки времени, храповое колесо подвигается на одинъ зубецъ, и при помощи колесъ движеніе это можно передать указателю. Часы будутъ ходить до тѣхъ поръ, пока грузъ, прикрѣпленный къ нижней оси, не опустится до полу; тогда его нужно снова поднять наверхъ. Таково устройство первыхъ маятничныхъ часовъ, и модель, построенная позднѣе по найденному старому рисунку, обнаружила



32. Часы Галилея. 33. Часы Гюйгенса.

вполнѣ ихъ пригодность. За смертью Галилея проектъ его однако не былъ исполненъ. Сынъ его началъ было спустя нѣкоторое время приводить въ исполненіе идею отца; когда уже былъ изготовленъ первый образецъ, и Галилей съ Вивіани убѣдились въ его пригодности, молодой Галилей получилъ лихорадку, которая внезапно унесла его въ могилу. Вивіани раньше того далъ слово хранить это изобрѣтеніе въ тайнѣ, и такъ строго держался своего обѣщанія, что даже ничего не сообщалъ о немъ въ изданной имъ біографіи своего учителя.

Такимъ образомъ, сдѣланное изобрѣтеніе оставалось вначалѣ неизвѣстнымъ, и Гюйгенсъ, ничего о немъ не зная, изобрѣлъ новые маятничные часы, которые въ 1656 г. получили патентъ Генеральныхъ Штатовъ. Первоначально имъ было дано такое устройство, въ которомъ употреблялся горизонтальный маятникъ, по вслѣдствіе того ходъ получался неправильный, и въ новой конструкціи Гюйгенсъ опять возвратился къ вертикальному маятнику. Эту новую конструкцію ихъ представляетъ рис. 33. При помощи двухъ механизмовъ съ зубчатыми колесами R, r_1, r_2 грузъ, тянущій шнуръ, намотанный на валу W, приводитъ въ движеніе храповое колесо S. Маятникъ V, для устраненія тренія въ точкѣ привѣса, неизбѣжнаго при другомъ устройствѣ, прикрѣпляется къ гибкой стальной пластинкѣ. Стерженекъ C при помощи вилки захватываетъ маятникъ, такъ что при каждомъ его качаніи стержень AA будетъ поворачиваться то въ ту, то въ другую сторону, причемъ пластинки PP, укрѣпленныя на этомъ стержнѣ діаметрально другъ противъ друга, по обводу храповаго колеса S будутъ попеременно захватывать его зубцы и такимъ образомъ задерживать его.



34. Христіанъ Гюйгенсъ.

Придумано было и другое устройство часовъ. Маятникъ подобнымъ же образомъ укрѣплялся въ точкѣ привѣса; каждое его колебаніе черезъ посредство вилки сообщалось стерженьку, скрѣпленному съ осью, на которую насаженъ якорь съ зубьями, попеременно внѣдряющимися въ храповое колесо. Во всемъ остальномъ устройство таково же, какъ и въ прежнихъ

конструкціяхъ. Перемѣщеніемъ имѣющагося у маятника груза продолжительность его колебаній по желанію увеличивають или уменьшають, чѣмъ достигается регулировка хода, какъ это дѣлается до настоящаго времени.

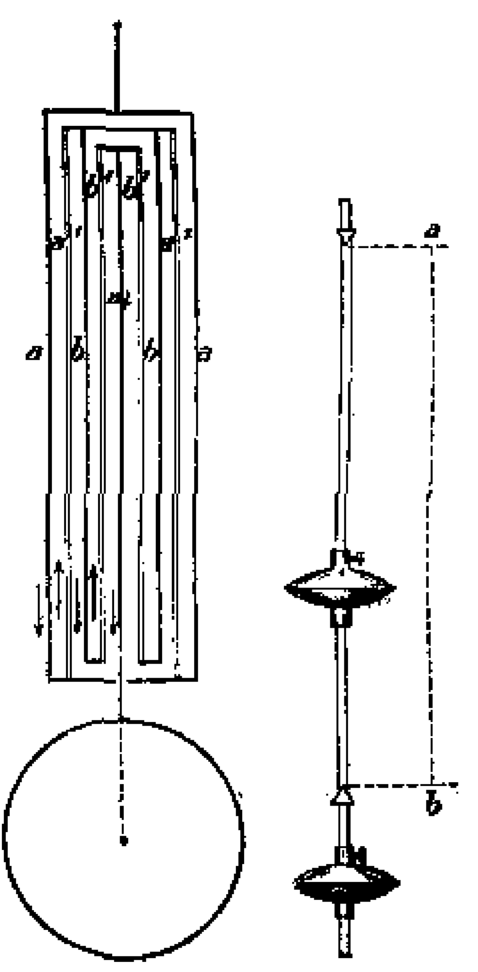
Такіе часы, съ вертикальнымъ маятникомъ, не пригодны на морѣ, гдѣ онъ будетъ неправильно дѣйствовать вслѣдствіе качки корабля. Переговоры, которые вели раньше Генеральные Штаты съ Галилеемъ, имѣли однако цѣлью получить устройство именно такихъ часовъ, пригодныхъ на морѣ. Гюйгенсъ и ихъ позднѣе устроилъ, снабдивъ бывшіе въ то время во всеобщемъ употребленіи неточные столовые часы балансомъ, всегда теперь употребляемымъ въ карманныхъ часахъ; это устранило въ ихъ ходѣ неправильность.

Послѣ обнародованія изобрѣтенія Гюйгенса начались споры относительно первенства въ этомъ дѣлѣ Галилея, и Гюйгенсъ, ознакомившись впослѣдствіи съ изобрѣтеніемъ высокочтимаго имъ ученаго, охотно призналъ его пріоритетъ. Это нисколько не уменьшило его славы, такъ какъ въ концѣ концовъ сдѣланнымъ изобрѣтеніемъ свѣтъ обязанъ все-таки ему.

Уравнительный маятникъ. Какъ мы раньше видѣли и какъ извѣстно намъ изъ повседневнаго опыта, перемѣщеніемъ маятничнаго груза можно ходъ маятника ускорить или замедлить, такъ какъ время колебанія зависитъ только отъ его длины. Но такое измѣненіе въ длинѣ маятника происходитъ и безъ того вслѣдствіе колебанія температуры; всѣ металлы при нагрѣваніи расширяются, а при охлажденіи сжимаются. Особенно ясно это сказывается на металлическихъ стержняхъ, такъ какъ здѣсь размѣры длины играютъ первую роль. Этотъ недостатокъ не замедлилъ обнаружиться на первыхъ же порахъ, и стали искать средства устранить его, т.-е. скомпенсировать измѣненіе длины маятника. Довольно хорошій исходъ, къ которому прибѣгаютъ въ настоящее время, это — замѣна металлической линзы продолговатымъ, новѣшеннымъ вертикально, сосудикомъ со ртутью. Если отъ притока тепла стержень маятника удлинится, то вмѣстѣ съ тѣмъ столбикъ ртути въ сосудѣ также расширится и станетъ выше, такъ что при соотвѣтственномъ подборѣ размѣровъ, положеніе центра тяжести маятника не измѣнится. Другой болѣе употребительный видъ уравнительнаго маятника представленъ на рис. 35. Вмѣсто одного стержня ихъ нѣсколько, различныхъ металловъ, причемъ, расширяясь, одни удлиняются въ направленіи кверху, другіе книзу, такъ что общее удлиненіе сводится къ нулю. Къ нижнимъ отросткамъ внѣшней желѣзной рамы a a прикрѣпляются стержни a′a′ изъ латуни; на верхнемъ скрѣпѣ ихъ висятъ желѣзные стержни b b, поддерживающіе въ свою очередь латунные стержни b′b′; вверху послѣднихъ находится перекладина, съ которой свѣшивается прутъ m, держащій линзу. При нагрѣваніи происходитъ слѣдующее: a a удлиняются книзу, a′a′ кверху, bb снова книзу и b′b′ кверху; стержень m, лежащій между ними, опять-таки получаетъ удлиненіе книзу. Вслѣдствіе различія въ коэффиціентахъ расширенія входящихъ сюда металловъ можно достичь того, что въ концѣ концовъ длина маятника, считая до центра груза, не будетъ получать измѣненія.

Оборотный маятникъ. Чтобы имѣть возможность при помощи физическаго маятника производить измѣренія, въ основѣ которыхъ лежатъ законы, относящіеся до математическаго, самое простое средство — устроить такъ, чтобы онъ по возможности ближе подходилъ къ математическому: подвѣсъ долженъ быть возможно легокъ, въ качествѣ груза долженъ быть взятъ совершенно однородный, небольшихъ размѣровъ, но тяжелый шаръ, чтобы разстояніе отъ его центра до то точки привѣса можно было принять вполнѣ строго за длину маятника. Но для производства научныхъ работъ такой маятникъ неудобенъ. Для такихъ цѣлей служитъ такъ называемый оборотный маятникъ, математическая длина котораго опредѣляется весьма точно.

Принципъ его устройства слѣдующій: во всякомъ маятникѣ существуетъ такая точка, которая, будучи взята въ отдѣльности, т.-е. разсматриваемая, какъ особый математическій маятникъ, колебалась бы совершенно такимъ же образомъ, или иначе: разстояніе которой отъ точки привѣса изображаетъ длину математическаго маятника съ той же продолжительностью колебанія. Точка эта называется *центромъ качанія*. Точки привѣса и центръ качанія можно переставлять, не измѣняя при этомъ времени колебанія маятника. Рис. 36 представляетъ въ схематическомъ видѣ оборотный маятникъ. На стержнѣ сдѣланы въ двухъ мѣстахъ выступы a и b, служащіе для подвѣса маятника; также имѣются и два груза. Можно пользоваться любымъ выступомъ, равно какъ можно передвигать или тотъ или другой грузъ, или же оба сразу. Передвигаютъ положимъ, одинъ изъ грузовъ до тѣхъ поръ, пока, подвѣшивая маятникъ сначала въ a, потомъ въ b, не получатъ той же продолжительности колебанія, тогда ab будетъ приведенной длиной маятника, т.-е. взятый физическій маятникъ будетъ такъ же колебаться, какъ математическій маятникъ длины ab; такъ его и разсматриваютъ. Изготовленіе оборотнаго маятника, пригоднаго для научныхъ изслѣдованій, требуетъ особенно тщательной и тонкой работы. Передвиженіе груза дѣлается при помощи мелкаго микрометреннаго винта. Для наблюденія времени колебанія употребляется особенно точный пріемъ, обставленный разными приспособленіями.



35. Уравнительный маятникъ. 36. Оборотный маятникъ.

Секундный маятникъ. Дальнѣйшія примѣненія маятника. При многихъ физическихъ опытахъ, а также нерѣдко и въ техникѣ важно имѣть маятникъ, время колебанія котораго, принимая общеупотребительную единицу времени, составляло бы какъ разъ 1 секунду. Длина такого маятника въ Берлинѣ выражается 994,224 mm, въ Парижѣ 993,856 mm (въ Петербургѣ 994,910 mm). Это различіе въ длинѣ секунднаго маятника приводитъ насъ къ новому явленію, а именно: время колебанія двухъ маятниковъ, одной и той же длины, или того же самаго маятника не остается одинаковымъ въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности, отличающихся по своей географической широтѣ или высотѣ надъ уровнемъ моря. Послѣднее очевидно, такъ какъ законы колебанія маятника представляютъ только случай примѣненія законовъ паденія тѣлъ, значитъ зависятъ отъ силы тяжести, которая въ свою очередь должна зависѣть отъ разстоянія до центра земли, а слѣдовательно и высоты даннаго мѣста надъ уровнемъ моря. Секундный маятникъ, длина котораго соотвѣтствуетъ уровню моря, на Брокенѣ (на высотѣ 1140 m) будетъ запаздывать на 11—12 сек. въ теченіе сутокъ. Для высокихъ горъ разность эта соотвѣтственно увеличивается. Посредствомъ маятника можно точно опредѣлить ускореніе силы тяжести въ различныхъ пунктахъ земли. Существуетъ вообще слѣдующая зависимость: въ различныхъ точкахъ земной поверхности напряженія силы тяжести относятся, какъ длины секундныхъ маятниковъ, или, относя вопросъ къ продолжительности колебанія, скажемъ: напряженіе силы тяжести обратно пропорціонально квадрату времени колебанія. Въ 1672 г., во время предпринятой тогда французскимъ правительствомъ экспедиціи въ Кайенну, астрономъ Рише замѣтилъ, что взятые изъ Парижа точные астрономическіе часы въ Кайеннѣ отставали въ сутки на 148 сек. Чтобы ихъ

исправить, онъ долженъ былъ укоротить маятникъ на 2,8 mm. Когда послѣ того часы перевезли въ *Парижъ, получилась какъ разъ обратная ошибка, и,* чтобы часы шли вѣрно, снова пришлось удлинить маятникъ на 2,8 mm. Ньютонъ сразу понялъ причину этого загадочнаго явленія, именно — сжатіе земли на полюсахъ, и обратно, въ этомъ явленіи нашелъ подтвержденіе такой теоріи. Вслѣдствіе такой сплюснутой формы земли, поверхность ея въ Кайеннѣ находится въ большемъ удаленіи отъ центра.

Съ тѣхъ поръ различными изслѣдователями были произведены многочисленныя и весьма точныя наблюденія. Въ знаменитой экспедиціи парижской академіи (1735—1744) для производства градусныхъ измѣреній въ Перу былъ полученъ опытнымъ путемъ цѣлый рядъ данныхъ, для опредѣленія времени колебанія одного и того же маятника и напряженія силы тяжести въ различныхъ пунктахъ земли, весьма различной географической долготы; данныя эти вполнѣ согласовались съ вычисленными. Происходившія послѣ того точныя градусныя измѣренія подтвердили высказанное Ньютономъ положеніе, что земля не шаръ, а эллипсоидъ вращенія. Но по отношенію къ величинѣ земного діаметра сжатіе незначительно; такъ, величина діаметра между полюсами достигаетъ 1713 миль, между тѣмъ какъ діаметръ экватора имѣетъ 1719 миль. Для различныхъ точекъ, лежащихъ на томъ же меридіанѣ, будутъ получаться величины между этими предѣлами, только слѣдуетъ конечно еще принять во вниманіе разность, происходящую отъ неодинаковаго положенія надъ уровнемъ моря. Для ускоренія силы тяжести вышеупомянутой Перуанской экспедиціей найдены слѣдующія значенія:

Мѣсто наблюденія.	Геогр. широта.	*Ускор. силы тяжести,* выр. въ m въ сек.
Торнео.	66° 0′	9,823
Парижъ	48° 50′	9,809
Гуаяквиль	2° 11′	9,781

Въ Берлинѣ (50°50′ сѣв. шир. и 40 m надъ ур. моря) ускореніе выражается числомъ 9,813. (въ С.-Петербургѣ 9,819).

Маятникъ также даетъ средство вполнѣ точно доказать важное основное положеніе физики и механики, состоящее въ томъ, что ускореніе силы тяжести по отношенію ко всѣмъ тѣламъ одинаково. Галилей раньше еще указалъ путь, какъ найти опытное основаніе этого закона, но не могъ дать *точнаго и не допускающаго возраженій доказательства. Ньютонъ первый* показалъ, что если линзу маятника замѣнить полымъ металлическимъ сосудомъ, то время колебанія маятника не измѣнится, будетъ ли оставаться сосудъ пустымъ или наполненъ какимъ-нибудь тяжелымъ веществомъ. Бессель повторилъ этотъ опытъ, употребивъ при этомъ болѣе точный пріемъ; онъ бралъ маятники съ шарообразными грузами одинаковаго размѣра, подвѣшивалъ ихъ при помощи нитей, одной и той же длины и изъ того же матеріала; далѣе, заставлялъ эти маятники колебаться въ безвоздушномъ пространствѣ.

Кромѣ всего этого при помощи маятника становится возможнымъ найти распредѣленіе вещества земли по ея поверхности и такимъ образомъ получить число, выражающее среднюю плотность или удѣльный вѣсъ земного шара — 5,64. Маятникъ показываетъ собственно, что плотность земли увеличивается по направленію внутрь земного шара; въ глубокой шахтѣ его колебанія чаще, откуда и заключаемъ, что плотность земли по направленію внутрь ея увеличивается, и именно это увеличеніе плотности продолжается на разстояніе $^1/_6$ радіуса. Однако при однородности вещества земли сила тяжести должна бы уменьшиться по направленію внутрь, такъ какъ теперь не вся масса земли будетъ оказывать притяженіе къ центру;

но часть ея, лежащая внѣ по отношенію къ разсматриваемой точкѣ внутри земли, будетъ оказывать притяженіе по направленію къ поверхности. Въ центрѣ земли сила тяжести=0.

Ударъ тѣлъ. Трамбованіе.

Если движущееся тѣло сталкивается съ другимъ, находящимся въ покоѣ или тоже движущимся, то происходитъ ударъ тѣлъ. Если центры тяжести обоихъ тѣлъ до момента соприкосновенія двигались по одной и той же прямой, нормальной къ поверхности соприкосновенія, то ударъ будетъ центральный и прямой, въ противоположность косому и эксцентричному. При прямомъ центральномъ ударѣ происходитъ только измѣненіе скорости, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ одно изъ тѣлъ измѣняетъ направленіе движенія на обратное, но тѣла продолжаютъ двигаться по одной прямой, если только одно изъ нихъ, а иногда и оба не останавливаются. При косомъ ударѣ, кромѣ измѣненія въ скорости, происходитъ еще измѣненіе направленія движенія, а при эксцентричномъ ударѣ появляются еще вращательныя движенія. Здѣсь намъ понадобится только разсмотрѣть случай прямого центральнаго удара.

При ударѣ тѣлъ часть пріобрѣтенной ими за время движенія живой силы идетъ на ихъ деформацію, что одинаково относится какъ къ тѣламъ упругимъ, такъ и неупругимъ. Въ обоихъ случаяхъ въ мѣстѣ соприкосновенія является послѣ удара или уплотненіе вещества или впадина, въ зависимости отъ формы соударяющихся тѣлъ. Въ совершенно неупругихъ (мягкихъ) тѣлахъ деформація эта остается и послѣ удара; въ упругихъ же тѣлахъ наоборотъ тотчасъ происходитъ возстановленіе прежней формы, и не является какого-либо слѣда остаточной деформаціи до тѣхъ поръ, пока не перейденъ извѣстный предѣлъ. Въ томъ и другомъ случаѣ часть кинетической энергіи расходуется на смѣщеніе молекулъ обоихъ тѣлъ, что внѣшнимъ образомъ проявляется въ тратѣ живой силы. При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ происходитъ даже полная потеря живой силы, примѣры чего уже раньше были приведены.

Конечно, дѣйствіе удара сказывается различно на упругихъ и неупругихъ тѣлахъ. Послѣ прямого центральнаго удара неупругія тѣла продолжаютъ дальше двигаться вмѣстѣ, какъ бы составляя одно тѣло. Смотря по тому, будутъ ли направленія движенія обоихъ одинаковы или противоположны, живыя силы ихъ будутъ складываться, и движеніе тѣлъ будетъ сохранять прежнее направленіе, или же оба они примутъ направленіе движенія того тѣла, которое обладало большей живой силой; результирующая живая сила будетъ равна разности между энергіями того и другого тѣла до удара; результирующая скорость равна частному отъ дѣленія суммы (если тѣла до удара шли въ одномъ направленіи) или разности (если направленія эти обратны) количествъ движенія на сумму массъ тѣлъ. Если массы обоихъ тѣлъ равны такъ же, какъ и скорости, но направленія движенія обратны, то результирующая скорость = 0; послѣ удара тѣла не обладаютъ уже кинетической энергіей. То же произойдетъ, если одно изъ тѣлъ будетъ неподвижно укрѣплено. Послѣ удара тѣлъ, вполнѣ упругихъ, произойдетъ не только полное возстановленіе прежней формы, но даже проявится внѣшнимъ образомъ усиліе, употребленное на производство деформаціи. Но такъ какъ вполнѣ упругихъ тѣлъ не существуетъ, то слѣдовательно будетъ обнаруживаться потеря энергіи даже при ударѣ упругихъ, въ общепринятомъ смыслѣ, тѣлъ. Если устроить такъ, чтобы шарикъ слоновой кости, находясь подъ колоколомъ воздушнаго насоса, откуда воздухъ выкачанъ, падалъ на пластинку того же вещества, то мы за-

мѣтимъ, что, ударяясь о послѣднюю и отскакивая отъ нея, онъ уже не будетъ достигать каждый разъ прежней высоты; наоборотъ, высота поднятія будетъ все время уменьшаться. И, когда израсходуется вся энергія, такъ какъ трата ея, идущая на производство деформаціи во время отдѣльныхъ ударовъ не вполнѣ возстановляется при слѣдующихъ затѣмъ отскакиваніяхъ, вызванныхъ упругими тѣлами, шарикъ останется на пластинкѣ. Если сталкиваются два вполнѣ упругихъ тѣла, движущихся въ одномъ направленіи, то слѣдствія удара совсѣмъ не тѣ, что при ударѣ неупругихъ тѣлъ. Особенно просто обстоитъ дѣло, если тѣла имѣютъ одинаковую массу, что наблюдается даже на опытѣ съ билліардными шарами, хотя тутъ является нѣкоторая помѣха вслѣдствіе тренія ихъ о сукно стола. Послѣ удара тѣла одинаковой массы обмѣниваются скоростями. Если направленія движенія обоихъ тѣлъ совпадаютъ, то это же направленіе сохраняется и послѣ удара, но переднее тѣло увеличитъ скорость своего движенія до той величины, какую имѣло заднее, а заднее, получивъ скорость движенія, бывшую прежде у передняго, будетъ двигаться вслѣдъ за нимъ. Такимъ образомъ, послѣ удара тѣла удаляются другъ отъ друга съ той скоростью, съ какой раньше того стремились сблизиться. Если одно изъ тѣлъ находилось въ покоѣ, то послѣ удара второе тѣло начнетъ двигаться со скоростью ударившаго его тѣла, а то теперь, въ свою очередь, остановится. Если тѣла двигались навстрѣчу другъ другу, то послѣ удара они отскочатъ одно отъ другого, причемъ первое получитъ скорость, бывшую раньше у второго, а второе, бывшую раньше у перваго. Если вполнѣ упругое тѣло ударится о другое, значительно превосходящее его по размѣрамъ или укрѣпленное неподвижно (ну, напр., ударится въ стѣну), причемъ ударъ произойдетъ въ направленіи, нормальномъ къ послѣднему, то тѣло малаго размѣра отскочитъ съ прежней своей скоростью.

Когда соударяются два неодинаковыхъ, вполнѣ упругихъ тѣла, то характеръ слѣдующаго затѣмъ движенія зависитъ отъ того, въ какомъ отношеніи находятся скорости и массы тѣлъ, но зависимость эта не такъ проста, какъ въ случаѣ тѣлъ неупругихъ.

Ударъ тѣлъ (особенно неупругихъ) имѣетъ весьма много примѣненій въ практикѣ, и сообразно обстоятельствамъ преслѣдуются двѣ противоположныя цѣли: или стремятся достигнуть преобразованія формы тѣла, или же привести его въ движеніе. При ковкѣ желѣза напр. живая сила, развиваемая во время паденія обыкновеннаго кузнечнаго или парового молота, идетъ на производство деформаціи, т.-е. измѣненіе формы раскаленнаго куска желѣза. При этомъ нужно стараться, чтобы какъ можно меньше энергіи тратилось даромъ на производство сотрясенія наковальни или подставки парового молота, такъ какъ отъ этой траты не только что не получается полезнаго дѣйствія, но даже является вредное, потому что расшатывается фундаментъ. Слѣдовательно подставка, на которую кладется кусокъ, предназначенный для ковки, должна обладать массой, значительно превосходящей массу этого куска Совсѣмъ иначе обстоитъ это дѣло напр. при трамбованіи. Здѣсь живая сила движущагося тѣла должна преодолѣть сопротивленіе этому движенію со стороны находящагося на его пути неподвижнаго тѣла, возможно меньше измѣняя форму послѣдняго. Для достиженія поставленной цѣли масса колотушки должна быть велика по сравненію съ массой булыжника, или при вбивкѣ свай масса бабы должна значительно превосходить массу вколачиваемаго бревна.

Время удара, т.-е. то время, въ теченіе котораго происходитъ передача живой силы, по большей части чрезвычайно мало. Оно зависитъ отъ величины и вещества соударяющихся тѣлъ. Въ случаѣ удара двухъ стальныхъ шаровъ, имѣющихъ 13 миллим. въ діаметрѣ и скорость = 295 миллим. въ сек.,

время удара будетъ составлять 0,00014 сек. Такъ какъ время удара незначительно, иногда нельзя даже его измѣрить, то обыкновенно, говоря о силѣ удара, принимаютъ во вниманіе не мощность, измѣряемую въ skgrm. а работу, совершаемую за время удара, измѣряемую въ kgrm. Въ большинствѣ случаевъ примѣненія удара на практикѣ, работа эта прямо выражается произведеніемъ изъ массы ударяющаго тѣла (свайная баба) на высоту, съ которой происходитъ его паденіе, выраженную въ метрахъ.

Трамбованіе. При постройкѣ разнаго рода водяныхъ сооруженій требуется иногда вбить столбъ, иногда цѣлый рядъ столбовъ, а иногда даже устроить досчатыя стѣны. Наиболѣе простой случай, встрѣчающійся при постройкѣ дома, если почва ненадежна или мѣстами очень мягка, — это сооруженіе свайнаго фундамента. Въ такихъ случаяхъ вбиваютъ въ топкую почву цѣлый рядъ столбовъ, которые концами своими стоятъ на твердомъ основаніи. На этихъ столбахъ укрѣпляется затѣмъ рамка изъ продольныхъ и поперечныхъ балокъ, служащая основаніемъ для возведенія стѣнъ или сооруженія другихъ какихъ-либо частей зданія.

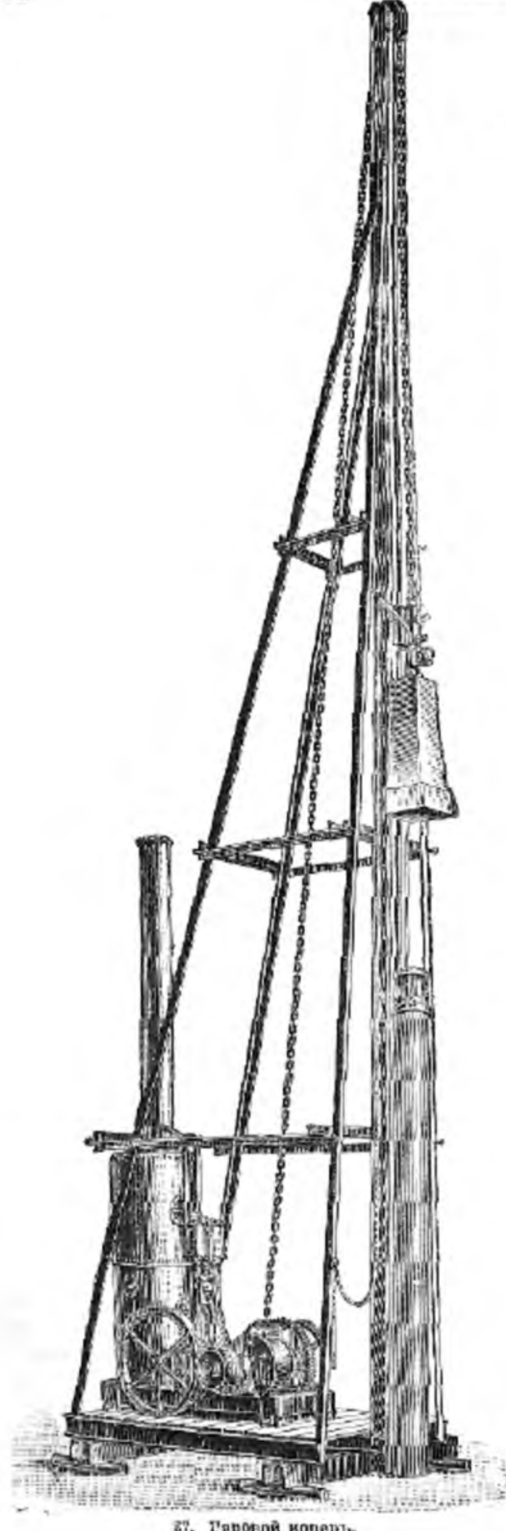
Бываютъ случаи, когда требуется проложить газопроводныя или водопроводныя трубы черезъ топкіе болотистые луга, старыя русла рѣкъ или канавы, напр. въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ прежде были крѣпостные рвы и гдѣ почва очень рыхлая. Отъ того, что почва подъ проводами мѣстами осыпается, они могутъ поломаться, что весьма сильно отзовется на дѣлѣ освѣщенія или водоснабженія города. Въ такихъ случаяхъ, если вырыть рыхлую землю и замѣнить ее промытымъ и хорошо убитымъ пескомъ не представляется удобнымъ, вслѣдствіе большой глубины, то на опредѣленномъ разстояніи, напр. по одной черезъ каждые 4 м., на протяженіи провода, дѣлаютъ подставки изъ двухъ столбовъ, вбитыхъ одинъ справа, другой слѣва и упирающихся на твердую почву; проводъ кладется на короткую поперечную перекладину между столбами.

При постройкѣ шлюзовъ и доковъ для того, чтобы окружить ихъ стѣнами, вбиваютъ въ два ряда столбы, плотно прилегающіе одинъ къ другому; вода, которая просачивается снизу въ окружаемое ими пространство, постоянно выкачивается насосомъ, и такимъ образомъ подготовляется мѣсто для сооруженія фундамента и возведенія стѣнъ.

Принципъ устройства всевозможныхъ трамбовокъ одинъ и тотъ же: стараются живую силу, пріобрѣтаемую тѣломъ за время движенія, во время удара быстро сообщить какой-нибудь сваѣ и такимъ образомъ вбить ее въ землю.

Самый простой видъ трамбовки представляетъ изъ себя ручная баба — это тяжелый деревянный чурбанъ, съ двумя или четырьмя ручками по бокамъ, такъ что поднимаютъ ее двое или четверо; эту трамбовку употребляютъ при постройкѣ заборовъ, для вбиванія столбовъ. Для полученія большей силы употребляется подъемная трамбовка, гдѣ утрамбовывающій грузъ, равно какъ и высота паденія больше; 4, 6 или даже 10 человѣкъ тянутъ одновременно и равномѣрно веревки, привязанныя къ перекинутому черезъ блокъ канату съ грузомъ; съ задней стороны послѣдняго находится выступъ, съ помощью котораго онъ можетъ перемѣщаться въ такъ называемыхъ салазкахъ между двумя брусками, такъ что, послѣ того какъ его поднимутъ, онъ будетъ падать по вертикальному направленію и ударять прямо въ сваю. Грузъ этой трамбовки вѣситъ 100—300 кгр.

Въ машинномъ копрѣ употребляется грузъ еще большаго вѣса такъ же, какъ и высота паденія значительно больше. Расположеніе приборовъ таково же, какъ на рис. 37, представляющемъ паровой коперъ (или молотъ); только барабанъ, на который насажена цѣпь, приводится въ движеніе не паровой машиной, а людьми, вращающими его при помощи рукоятки. Бара-



87. Паровой коперъ.

банъ наматывать на себя цѣпь, которая при помощи блока, находящагося вверху всего сооруженія, поддерживаетъ утрамбовывающій грузъ; у послѣдняго есть ручка, устроенная наподобіе ножницъ; когда онъ уже поднятъ *наверхъ*, *дергая за спущенную* внизъ веревку, открываютъ ножницы, и грузъ, свободно скользя въ салазкахъ, падаетъ внизъ. Тогда снимаютъ спустившійся конецъ цѣпи, ножницы снова укрѣпляются на грузѣ, и при помощи барабана его опять подымаютъ наверхъ. Грузъ вѣситъ около 400—1000 кгр. Высота паденія, считая отъ земли до нижняго конца груза 7—13 м.

Совершенно подобное устройство *имѣетъ представленная* на рис. паровая трамбовка (*Менка и Гамброка въ Альтонѣ*); она можетъ производить два, три удара въ минуту, грузъ вѣситъ 600—1400 кгр., высота паденія 8—13 метр.

Вмѣсто описаннаго устройства съ возвратной цѣпью, которую послѣ каждаго удара нужно стаскивать, на что тратится время, примѣняется также и безконечная цѣпь. Тутъ употребляется *безконечная цѣпь*, т.-е. замкнутая узловатая цѣпь съ *приплюснутыми звеньями наподобіе* шарнирной цѣпи Голля; эта цѣпь проходитъ черезъ два блока, находящіеся вверху и внизу всего сооруженія, и еще черезъ рольку, насаженную на валъ ворота; послѣдняя снабжена зубцами, зацѣпляющими за звенья цѣпи и такимъ образомъ вращающими ее, когда вращаютъ воротъ. Часть безконечной цѣпи, между двумя *блоками*, *подымается* все время вверхъ, проходя по пути черезъ *отверстіе*, сдѣланное въ утрамбовывающемъ грузѣ; въ этомъ отверстіи находится шпенекъ, который вдвигается въ звено цѣпи, и такимъ образомъ устанавливается связь между ней и гру-

зомъ, такъ что послѣдній вмѣстѣ съ цѣпью будетъ подниматься кверху. На любой высотѣ, при помощи зацѣпокъ, устроенныхъ въ салазкахъ, шпенекъ самъ собой выдвигается, отчего грузъ падаетъ; но его сейчасъ же опять вдвигаютъ, и грузъ идетъ наверхъ.

Существуетъ еще паровая трамбовка съ самодѣйствующимъ грузомъ; здѣсь грузъ поднимается вверхъ непосредственно давленіемъ пара и тотчасъ, по прекращеніи впуска паровъ, свободно падаетъ внизъ.

Центробѣжная сила.

Праща. Желѣзнодорожные повороты. Измѣритель скорости Брауна. Центробѣжный регуляторъ. Центробѣжныя машины. Сжатіе земли. Происхожденіе колецъ Сатурна. Уменьшеніе силы тяжести.

Всякому приходилось наблюдать, какъ въ мокрую, грязную погоду колеса проѣзжающаго экипажа такъ и разбрызгиваютъ комки грязи по всевозможнымъ направленіямъ; крылья экипажей быстро покрываются этой липкой грязью; иной комокъ весьма нелюбезно задѣваетъ встрѣчнаго прохожаго или попадаетъ прямо въ открытую пролетку, если крылья недостаточно ее защищаютъ. Мы видимъ, какъ велосипедисты, во время состязаній въ бѣгѣ по замкнутой кривой, круговой или эллиптической формы, быстро мчатся мимо, согнувшись и отклоняясь нѣсколько отъ вертикальнаго направленія къ центру; чѣмъ скорѣе бѣгъ, тѣмъ больше наклонъ. Наѣздникъ въ циркѣ также наклоняется вмѣстѣ съ лошадью къ серединѣ арены. Причиной этихъ и другихъ явленій подобнаго рода, нерѣдко обращающихъ на себя наше вниманіе, является центробѣжная сила.

Дѣйствія центробѣжной силы давно были подмѣчены и нашли себѣ примѣненіе въ устройствѣ такихъ напр. приборовъ, какъ праща или метательная машина; ударомъ камня, брошеннаго изъ пращи, Давидъ убилъ на смерть великана Голіаѳа. Если будемъ вертѣть привязанный на шнуркѣ камень, то мы замѣтимъ, какъ подъ вліяніемъ нѣкоторой силы шнурокъ будетъ растягиваться, и даже можетъ случиться, что при увеличеніи скорости онъ оборвется, и камень полетитъ по направленію прямой ab, касательной къ кругу, или иначе перпендикулярной къ направленію шнурка въ моментъ разрыва (см. рис. 38).

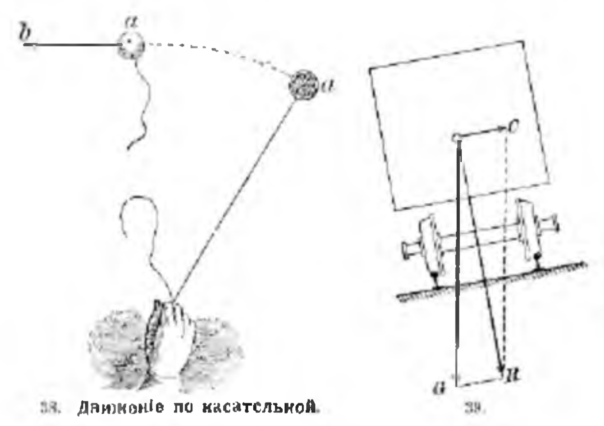
Эту силу, производящую натяженіе, а иногда и разрывъ шнурка или вызывающую полетъ камня, ни въ какомъ случаѣ нельзя считать чѣмъ-то *особеннымъ, а просто нужно разсматривать ее, какъ прямое слѣдствіе высказанныхъ* уже положеній о живой силѣ или силы инерціи тѣла. Тѣло, приведенное какимъ-либо внѣшнимъ воздѣйствіемъ во вращательное движеніе по кругу, стремится въ каждый моментъ сохранить направленіе движенія неизмѣннымъ, т.-е. двигаться впередъ въ прямолинейномъ направленіи по касательной къ кругу, чему является препятствіе, такъ какъ оно скрѣплено при помощи шнура съ нѣкоторымъ неподвижнымъ центромъ. Такимъ образомъ на шнурѣ дѣйствуетъ сила натяженія, направленная постоянно къ центру (центростремительная сила).

Вслѣдствіе инерціи тѣла явится сила, противодѣйствующая этой, направленіе которой прямо противоположно. Обѣ силы должны быть равны по величинѣ и должны одна другую уравновѣшивать, потому что иначе тѣло двигалось бы по спирали, приближаясь къ центру или удаляясь. Запасъ энергіи въ тѣлѣ долженъ бы былъ вызвать только движеніе по направленію касательной, но тѣло въ своемъ движеніи не можетъ слѣдовать этому направленію, что собственно и является причиной возникновенія центробѣжной силы; о какомъ-либо постороннемъ дѣйствіи не можетъ быть и рѣчи.

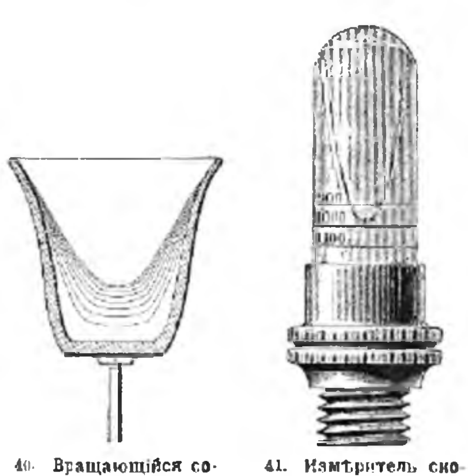
Когда обрывается связующая нить или отрывается шнурокъ пращи, то

ничѣмъ не обнаруживается существованіе какой-либо силы, дѣйствующей въ направленіи радіуса; не въ этомъ направленіи отлетитъ тѣло, какъ было бы это, если бы на самомъ дѣлѣ здѣсь проявлялось дѣйствіе какой-то особой центробѣжной силы; нѣтъ, направленіе его движенія будетъ перпендикулярно радіусу.

Величина центробѣжной силы соразмѣрна живой силѣ движущагося тѣла; она растетъ пропорціонально квадрату скорости; при равныхъ же скоростяхъ она обратно пропорціональна радіусу, т.-е. при опредѣленной угловой скорости центробѣжная и центростремительная сила тѣмъ больше, чѣмъ меньше радіусъ кривизны въ разсматриваемой точкѣ пути. Это легко себѣ уяснить изъ того, что чѣмъ поворотъ круче, тѣмъ сильнѣе должно отклониться тѣло отъ тангенціальнаго направленія, которому оно стремится слѣдовать. Приведенные выше примѣры находятъ простое объясненіе. Приставшая къ шинамъ экипажа грязь, вслѣдствіе прилипанія, сидитъ еще на шинѣ; когда центробѣжная сила увеличится и преодолѣетъ силу прилипанія, то грязь будетъ разлетаться въ разныя стороны въ тангенціальномъ направленіи. Когда велосипедистъ или всадникъ ѣдутъ быстро по кривому пути, то на нихъ также оказываетъ вліяніе это стремленіе сойти съ своего пути въ направленіи касательной, но этому стремленію они противопоставляютъ стремленіе сохранить во время движенія положеніе наклонное (въ сторону къ центру). Почти невольно, не отдавая себѣ отчета, увеличивая или уменьшая уклонъ и такимъ образомъ въ зависимости отъ увеличенія скорости измѣняя положеніе центра тяжести по направленію внутрь кривой, они уравновѣшиваютъ дѣйствіе центробѣжной силы соотвѣтственнымъ сопротивленіемъ; подъ дѣйствіемъ центробѣжной силы они также наклоняютъ свой корпусъ, какъ наклоняетъ его прохожій, борясь съ порывомъ сильнаго вѣтра, дующаго сбоку. Но, чтобы при такомъ положеніи колеса не соскальзывали съ полу, помостъ въ мѣстахъ поворота устраивается нѣсколько покатымъ, съ такимъ разсчетомъ, чтобы при средней скорости и соотвѣтственномъ уклонѣ отъ вертикальнаго направленія положеніе колесъ было бы нормально. Точно также въ мѣстахъ поворотовъ желѣзной дороги одинъ изъ рельсовъ (внѣшній) кладется выше, чтобы воспрепятствовать давленію желоба колеса на внѣшній рельсъ, являющемуся вслѣдствіе центробѣжной силы, отчего поѣздъ при большой скорости движенія могъ бы сойти съ пути. Повышеніе рельса должно быть разсчитано такъ, чтобы давленіе вагона, при опредѣленной скорости дви-



38. Движеніе по касательной. 39.



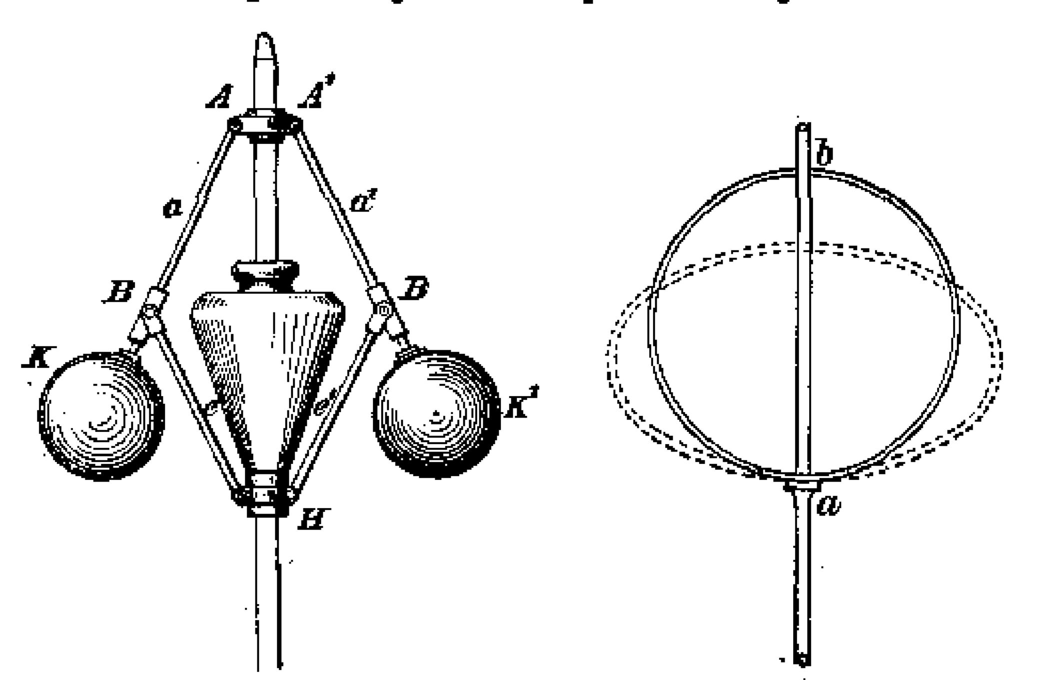
40. Вращающійся сосудъ съ водою. 41. Измѣритель скорости Брауна.

женія, подъ совмѣстнымъ вліяніемъ дѣйствія силы тяжести G, направленной вертикально внизъ, и центробѣжной силы C, дѣйствующей по горизонтальному направленію, выразилось бы слагающей этой двухъ силъ R, направленной перпендикулярно къ кратчайшему разстоянію между двумя рельсами (рис. 39). Повышеніе можно разсчитать только такъ, чтобы при какой либо опредѣленной скорости уничтожалось боковое давленіе. При прохожденіи скораго поѣзда вслѣдствіе увеличенія центробѣжной силы колеса будутъ оказывать давленіе на внѣшній рельсъ, а при прохожденіи товарнаго поѣзда, движущагося тихо, наоборотъ, внутренній рельсъ будетъ испытывать давленіе.

Самое простое примѣненіе дѣйствія центробѣжной силы представляетъ изъ себя вышеупомянутая праща. Въ кожаную сумочку вкладывается свободно камень и при помощи двухъ привязанныхъ къ ней шнурковъ приводится въ быстрое вращательное движеніе; если въ извѣстный моментъ одинъ изъ шнуровъ вдругъ отпустить, то камень съ большой скоростью полетитъ впередъ въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи. Начальная скорость полета равна угловой скорости въ моментъ отпусканія шнура. Просто бросивъ камень рукой, нельзя достигнуть такой большой скорости, такъ какъ дѣйствіе, вызываемое сокращеніемъ мускуловъ руки, весьма непродолжительно, почти моментально. Слишкомъ малъ путь и невелико время, проходящее съ того момента, какъ мы закидываемъ руку назадъ и потомъ снова выбрасываемъ ее, какъ можно дальше впередъ, чтобы камню можно было сообщить много энергіи, какъ это будетъ въ томъ случаѣ, когда мы пользуемся пращей: продолжительнымъ вращеніемъ камня (въ теченіе нѣсколькихъ секундъ) со все возрастающей скоростью достигается значительно большее дѣйствіе на шнуръ.

Дѣйствіе центробѣжной силы можетъ быть обнаружено и другими весьма различными способами. Если положимъ въ корзинку нѣсколько какихъ-нибудь вещицъ и затѣмъ, не закрывая ее, станемъ быстро вращать въ вертикальной плоскости, то эти вещи оттуда не будутъ вываливаться. Если также приведемъ въ быстрое вращеніе около вертикальной оси сосудъ, имѣющій вверху конусообразное расширеніе и наполненный нѣсколько жидкостью, то жидкость будетъ подниматься до краевъ сосуда и даже можетъ вылиться (рис. 40). На этомъ основано устройство весьма изящнаго и простого прибора Брауна (рис. 41), служащаго измѣрителемъ скорости. Небольшой замкнутый сосудъ наполненъ нѣсколько жидкостью, на его наружной поверхности вытравлена шкала. Нижнимъ концомъ онъ ввинчивается въ вертикально расположенный валъ, скорость вращенія котораго требуется опредѣлить; понятно, сосудъ будетъ вращаться съ той же скоростью, какъ и валъ; если валъ стоитъ горизонтально, то слѣдуетъ устроить передачу или при помощи коническихъ колесъ или шнуровую. Аппаратъ долженъ находиться въ вертикальномъ положеніи. Съ увеличеніемъ скорости движенія жидкость будетъ подниматься по стѣнкамъ сосуда, и поверхность ея приметъ нѣкоторую грушеобразную форму. *Чѣмъ больше скорость вращенія, тѣмъ ниже будетъ* лежать вершина параболической поверхности жидкости, и вытравленное противъ этой точки дѣленіе укажетъ число оборотовъ въ минуту. Въ томъ положеніи, какъ на рисункѣ, число это напримѣръ немножко меньше тысячи. Смотря по приближенному числу оборотовъ, дѣлаемыхъ въ одну минуту машиной, для которой предназначенъ аппаратъ, опредѣляется его форма и количество наливаемой жидкости. Конечно во время вращенія сосуда нельзя разобрать вытравленныхъ на его поверхности цифръ; но это не бѣда: черточку, соотвѣтствующую нормальному числу оборотовъ въ минуту, дѣлаютъ нѣсколько толще или подчеркиваютъ ее краснымъ карандашемъ. Тогда, не читая цифръ, сразу видно, на сколько дѣленій жидкость поднимается или опускается относительно помѣченной черточки, т.-е. насколько увеличивается или уменьшается ходъ машины.

Весьма важное примѣненіе дѣйствія центробѣжной силы къ дѣлу машиностроенія имѣемъ мы въ изобрѣтеніомъ Джемсомъ Ваттомъ и впервые приспособленномъ имъ для своей паровой машины такъ называемомъ центробѣжномъ регуляторѣ, или коническомъ маятникѣ, представленномъ на рис. 42 въ схематическомъ видѣ. Къ вертикальной оси прикрѣпляются при помощи колецъ AA' массивные шары KK', висящіе на стержняхъ aa'. Ось регулятора при помощи колесъ или ремня соединяется съ валомъ машины и такимъ образомъ приводится во вращеніе. При возрастаніи скорости шары стремятся разойтись, причемъ сами они вращаются въ мѣстахъ скрѣпленія съ вертикальной осью; такимъ образомъ они, значитъ, должны приподыматься, а вмѣстѣ съ тѣмъ при помощи стержней ee', скрѣпленныхъ шарнирами BB' съ прутьями, на которыхъ они привѣшены, подымаютъ и кольцо H. Это кольцо при посредствѣ еще нѣсколькихъ рычаговъ приводитъ въ дѣйствіе механизмъ, регулирующій притокъ пара, съ такимъ разсчетомъ, чтобы при слишкомъ большой скорости вращенія притокъ пара былъ меньше и скорость вращенія понизилась, такъ что въ концѣ концовъ она будетъ оставаться постоянной (подробности въ III части въ отдѣлѣ о паровыхъ машинахъ). И въ другихъ машинахъ, напр. въ тюрбинахъ, примѣняются центробѣжные регуляторы, которые съ увеличеніемъ скорости уменьшаютъ притокъ воды.



42. Центробѣжный регуляторъ. 43. Сжатіе вращающагося шара.

На дѣйствіи центробѣжной силы основано также устройство центробѣжныхъ сушилокъ. Онѣ употребляются въ ткацкомъ дѣлѣ и служатъ для того, чтобы возможно скорѣе и лучше высушить сырую ткань. Какъ съ намокшей шляпы сбрасываютъ капли дождя, предварительно сдѣлавъ нѣкоторый размахъ по дугѣ, такъ точно и мокрая ткань при вращеніи выгоняетъ сначала влагу наружу, а послѣ и совсѣмъ отъ нея освобождается. Дѣйствуютъ эти центробѣжныя сушилки такъ превосходно, что матерія уже черезъ нѣсколько минутъ становится вполнѣ сухой, тогда какъ безъ этого ее пришлось бы повѣсить въ сухомъ помѣщеніи и держать такъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ.

Совершенно подобное устройство имѣютъ центробѣжныя машины, употребляемыя при обработкѣ сахара для устраненія патоки изъ сахарнаго песку. На томъ же началѣ основано устройство сепараторовъ, сдѣлавшее такой переворотъ въ повсюду распространенномъ молочномъ хозяйствѣ, о чемъ будетъ говориться дальше въ IV части этого сочиненія. Съ помощью этихъ сепараторовъ только однимъ быстрымъ вращеніемъ (до 7000 обор. въ минуту) можно отдѣлить легкія жировыя части молока (сливки) отъ остальной болѣе тяжелой водянистой массы. И съ качественной точки зрѣнія имъ нужно отдать предпочтеніе передъ старымъ способомъ сниманія сливокъ, такъ какъ здѣсь происходитъ болѣе полное отдѣленіе жировыхъ продуктовъ, что выгодно отзывается на качествѣ приготовляемаго изъ нихъ масла.

Центробѣжная машина употребляется еще для выдѣленія сыченаго меда изъ сотъ. Весьма важное примѣненіе дѣйствія центробѣжной силы является

въ устройствѣ очень распространенныхъ центробѣжныхъ насосовъ для накачиванія воды, но объ нихъ будетъ рѣчь далѣе при описаніи вообще насосовъ.

Въ природѣ дѣйстніе центробѣжной силы проявляется въ весьма большихъ размѣрахъ. Обнаруженное при помощи маятника сжатіе земли вблизи полюсовъ, о чемъ мы уже говорили въ предыдущей главѣ, тоже обязано своимъ происхожденіемъ дѣйствію этой силы. Въ первобытныя времена, когда образовывалась земная кора, вещество земли было пластично; при вращеніи земли вокругъ оси молекулы, составляющія это вещество, стремятся разойтись въ разныя стороны по направленіямъ, перпендикулярнымъ оси, преодолѣвая при этомъ дѣйствіе силы тяжести, направленной къ центру; чѣмъ больше радіусъ вращенія тѣмъ сильнѣе проявляется это стремленіе, такъ что на экваторѣ оно будетъ достигать большей величины, тогда какъ вблизи полюсовъ его вовсе не будетъ обнаруживаться, такъ какъ здѣсь центробѣжная сила = O. Происходящее вслѣдствіе этого увеличеніе выпуклости земли вблизи экватора влечетъ за собой сжатіе по направленію оси. отчего и происходитъ, какъ было упомянуто, сплющиваніе земли влизи полюсовъ, такъ что діаметръ между полюсами на 1/299 короче, нежели діаметръ экватора.

Что при вращеніи тѣло, не вполнѣ твердое, пріобрѣтаетъ сплюснутую форму можно подтвердить слѣдующимъ опытомъ. Тонкій и гибкій стальной обручъ, имѣющій форму правильнаго круга (рис. 43), насаженъ на ось *ab*; внизу онъ укрѣпляется въ точкѣ *a*, вверху же дѣлается отверстіе, въ которое и продѣвается ось. Когда ось будетъ приведена въ быстрое вращеніе, то круглый обручъ измѣнитъ свою форму: именно, теперь онъ приметъ форму, эллипса, обозначеннаго на рисункѣ пунктиромъ.

На другихъ планетахъ, которыя своей величиной превосходятъ землю, какъ-то на Юпитерѣ и особенно на Сатурнѣ, дѣйствіе центробѣжной силы проявляется еще въ большихъ размѣрахъ. На Сатурнѣ центробѣжная сила вблизи экватора преодолѣла силу тяжести, такъ что частицы жидкой и пластичной матеріи отдѣлились отъ планеты и составили особый поясъ, огибающій ее въ плоскости экватора и извѣстный подъ названіемъ кольца Сатурна. Такимъ же образомъ, надо полагать, произошли спутники различныхъ планетъ, а въ томъ числѣ и неразлучный спутникъ земли, воспѣтая поэтами луна, которая по ночамъ серебристымъ сіяніемъ озаряетъ свою матушку землю, взамѣнъ угасшаго солнца. Такъ, если вещество въ экваторіальномъ поясѣ не равномѣрно распредѣлено, но съ одной какой-либо стороны, или въ нѣсколькихъ мѣстахъ оно находится въ преобладающемъ количествѣ, то съ теченіемъ времени его будетъ скопляться здѣсь все больше и больше; дѣйствіе центробѣжной силы здѣсь также будетъ больше, такъ что наконецъ въ одномъ или въ нѣсколькихъ такихъ ненадежныхъ мѣстахъ образуются *отдѣльные шарообразные комки, которые, оторвавшись отъ кольца,* будутъ обращаться, такъ сказать, вокругъ своего производителя, подъ совмѣстнымъ дѣйствіемъ двухъ силъ: дѣйствовавшей уже раньше центробѣжной силы и силы притяженія со стороны главной планеты.

Представленіе объ этомъ явленіи можно получить изъ слѣдующаго опыта Плато. Порядочную каплю жидкости, составленной изъ смѣси скипидара, воска и другихъ веществъ такъ, чтобы въ общемъ удѣльный вѣсъ смѣси равнялся какъ разъ единицѣ, опускаютъ въ сосудъ съ теплой водой; тогда капля эта плаваетъ во всякомъ положеніи внутри жидкости (не всплывая на поверхность) и сама остается жидкой. Ее перемѣщаютъ до тѣхъ поръ, пока ось ея не совпадетъ съ осью сосуда, тогда послѣдній приводится во вращеніе. Мало-по малу вода также приходитъ во вращеніе, которое сообщается въ свою очередь каплѣ. Когда скорость достигаетъ извѣстной величины, капля вблизи экватора получаетъ утолщеніе, причемъ форма ея становится нѣсколько сплюснутой по направленію оси; часть вещества капли наконецъ отдѣлится и обогнетъ ее въ видѣ

сплошного кольца. Если центръ капли не будетъ находиться на оси, то получится утолщеніе только по одной сторонѣ экватора, такъ что отсюда образуется новая самостоятельная капелька, являющаяся какъ бы луной по отношенію къ главной каплѣ. Также уже образовавшееся кольцо распадается, если его ось смѣстить нѣсколько относительно оси вращенія всего сосуда; и вслѣдъ затѣмъ съ той стороны, которая больше удалена отъ оси и гдѣ слѣдовательно дѣйствіе центробѣжной силы наибольшее, собирается вся масса кольца, образуя отдѣльную капельку въ мѣстѣ, противоположномъ мѣсту разрыва.

Такимъ образомъ дѣйствіе центробѣжной силы отчасти уничтожаетъ дѣйствіе силы тяжести. На экваторѣ обѣ силы направлены въ противныя стороны, и уменьшеніе ускоренія силы тяжести достигаетъ 3,4 см. такъ, что вмѣсто ранѣе данной нами величины 9,780 м. въ сек. оно измѣрялось бы уже 9,814 м. въ сек., если бы земля не вращалась. Величина центробѣжной силы на экваторѣ составляетъ $^1/_{289}$ силы тяжести. Если бы земля вращалась въ 17 разъ быстрѣе, то сила тяжести и центробѣжная сила взаимно уничтожили бы одна другую, такъ какъ здѣсь, равно какъ и во всякомъ движеніи, центробѣжная сила растетъ пропорціонально квадрату скорости. Тогда тѣла, находясь въ плоскости экватора не имѣли бы вѣса: брошенный вверхъ камень не вернулся бы уже снова на землю, а сталъ бы вращаться вокругъ нея наподобіе луны, или, въ томъ случаѣ, когда начальная скорость оказалась бы столь велика, что камень успѣлъ бы уйти за предѣлъ сферы дѣйствія силы тяжести, онъ сталъ бы двигаться въ междупланетномъ пространствѣ до тѣхъ поръ, пока не достигъ области, подчиненной вліянію другого небеснаго свѣтила.

Дѣйствія центробѣжной силы могутъ явиться причиной очень большихъ несчастій и разореній. Уже при употребленіи вышеназванныхъ машинъ вращающійся котелокъ обладаетъ значительной живой силой. Если этотъ котелокъ окажется недостаточно крѣпкимъ, чтобы выдержать вліяніе центробѣжной силы, то онъ разломится въ мелкіе куски, которые быстро съ силой разлетятся въ разныя стороны, подобно тому, какъ отлетаетъ камень, оторвавшись отъ шнурка, при помощи котораго его приводили въ быстрое вращеніе. Если стѣнки, окружающія приборъ, также недостаточно крѣпки, чтобы противостоять напору разлетѣвшихся обломковъ, то онѣ сами разлетятся въ разныя стороны по всему фабричному помѣщенію, повсюду неся съ собой разрушеніе. Уже не разъ происходили несчастія отъ того, что раздроблялся точильный камень, такъ что теперь, когда употребляется камень большихъ размѣровъ или когда онъ приводится въ быстрое вращеніе, обыкновенно его окружаютъ предохранительными стѣнками, оставляя только мѣсто, куда бы можно помѣстить предметъ, который хотятъ наточить. Еще болѣе важными послѣдствіями сопровождается поврежденіе большого махового колеса паровой машины, что происходитъ или вслѣдствіе того, что превзойденъ предѣлъ дозволенной скорости или вслѣдствіе какой-либо порчи матеріала.

Такъ великъ запасъ энергіи, пріобрѣтенной колесомъ, что почти пудовыя глыбы съ необоримой силой летятъ въ воздухъ, разрушая машину и всю установку, пробиваютъ стѣны, разламываютъ крышу и слѣдуютъ дальше, побѣждая всѣ препятствія, служащія преградой ихъ полету. Къ счастью еще является возможность во многихъ случаяхъ предохранить себя отъ подобнаго несчастія, сдѣлавъ точный разсчетъ размѣровъ махового колеса, принимая во вниманіе и напряженіе центробѣжной силы и крѣпость матеріала, изъ котораго сдѣлано колесо; но не одно уже предпріятіе рушилось вслѣдствіе порчи махового колеса, а также отъ разрыва передаточнаго ремня или каната, и не мало людей отъ того погибло.

Взаимное притяженіе массъ тѣлъ, или сила тяжести, и центробѣжная сила являются причиною образованія той или иной формы небеснаго тѣла и

установленія правильнаго пути, которому оно должно слѣдовать въ своемъ движеніи, съ тѣхъ поръ какъ ему былъ сообщенъ еще во времена столь отдаленныя, что мы даже не можемъ имѣть о нихъ представленія, первый, неизвѣстно откуда происшедшій, вѣчно необъяснимый толчекъ, приведшій въ движеніе первобытную міровую матерію. Мы не знаемъ, что представляютъ изъ себя по существу сила тяжести и центробѣжная сила, которая служитъ выраженіемъ силы инерціи тѣла, но однако законы, руководящіе дѣйствіями этихъ силъ, нами изслѣдованы. На основаніи этихъ законовъ, установленныхъ послѣ многочисленныхъ наблюденій и изслѣдованій, мы можемъ, опираясь на математическія вычисленія, подмѣтить многія явленія, происходящія при движеніи какого-нибудь небеснаго тѣла, и даже предсказать то, что должно произойти только еще черезъ сто или тысячу лѣтъ, подобно тому, какъ въ далекомъ прошломъ мы можемъ точно указать моментъ нѣкотораго событія, исторически неопредѣленный или еще не установленный, но имѣющимся случайно даннымъ относительно астрономическихъ явленій, происходившихъ въ ту эпоху, особенно солнечныхъ затменій.

Законы рычаговъ и ихъ примѣненія. Вѣсы, употребляемые въ техникѣ.

Подъемныя приспособленія у древнихъ. Рычагъ. Равноплечій рычагъ. Рычагъ для производства давленія или метанія. Законъ рычага. Ломаный рычагъ. Децимальные вѣсы. Сантимальные вѣсы съ платформой. Автоматическіе вѣсы.

Если мы читаемъ о различныхъ величественныхъ сооруженіяхъ древности, какъ-то о вавилонскихъ и ассирійскихъ храмахъ, египетскихъ пирамидахъ, колоссѣ родосскомъ или римскихъ акведукахъ, огромныхъ водопроводныхъ сооруженіяхъ, а тѣмъ болѣе когда на нашу долю выпадаетъ счастье созерцать эти изумительные памятники древняго искусства, невольно рождается вопросъ, какъ при современномъ состояніи техники могли возникнуть эти колоссальныя постройки? Напримѣръ египетскія пирамиды, построенныя чуть не 5000 лѣтъ тому назадъ, поставленныя изъ обточенныхъ обломковъ глыбъ вѣсомъ до 100 000 кгр.—это соотвѣтствуетъ грузу десяти большихъ желѣзнодорожныхъ вагоновъ; вышина ихъ иногда достигаетъ 150 м. Въ настоящее время подъемныя приспособленія играютъ важную роль при снабженіи матеріаломъ желѣзныхъ и сталелитейныхъ заводовъ. Повсюду распространены различные паровые, электрическіе и гидравлическіе краны, служащіе для подъема и переноски грузовъ и даже прямо для нагрузки различными тяжестями особыхъ желѣзнодорожныхъ вагоновъ, спеціально для того приспособленныхъ. Также и при выборѣ морского пути весьма важно сообразоваться съ тѣмъ, какой портъ имѣетъ лучшія и болѣе удобныя приспособленія для перенесенія груза съ желѣзнодорожнаго вагона на корабль. Но 5000 лѣтъ назадъ въ распоряженіи тогдашнихъ строителей не было ни крановъ, ни паровыхъ машинъ, ни желѣзной дороги, ни какихъ-либо гидравлическихъ подъемныхъ сооруженій.

Огромныя глыбы приходилось перемѣщать съ помощью самыхъ простыхъ средствъ, для чего конечно съ своей стороны требовалось множество рабочихъ-невольниковъ. Однимъ изъ доступныхъ тогда средствъ вспоможенія нужно считать рычагъ.

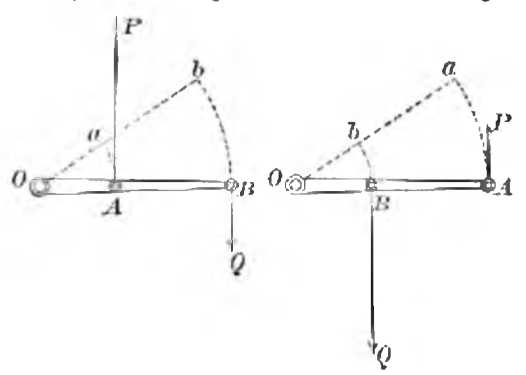
Пользованіе рычагомъ для поднятія тяжести кажется на столько само по себѣ понятнымъ, что думается, будто это одна изъ прирожденныхъ идей. Дѣти, еще неспособныя разсуждать, рабочіе, стоящіе на такой низкой ступени развитія, какъ только можно представить, примѣняютъ въ дѣло рычагъ или ломъ, даже не отдавая по всей вѣроятности себѣ отчета, почему такой

простой инструментъ производитъ такое большое дѣйствіе, или чѣмъ объяснить, что тяжелый камень (рис. 44), который рукой не можетъ быть сдвинуть съ мѣста, легко можно поднять при помощи рычага и даже послѣ нѣсколькихъ толчковъ совсѣмъ отодвинуть. Если мы спросимъ рабочаго, который вполнѣ правильно понимаетъ, какъ нужно употреблять рычагъ соотвѣтственно извѣстной надобности, почему же возможно достичь такого большого дѣйствія, примѣняя рычагъ, то онъ вѣроятно только съ удивленіемъ посмотритъ на насъ и подумаетъ про себя, что въ рычагѣ-то и заключается весь напоръ (отъ рабочихъ дѣйствительно часто доводится слышать опредѣленіе подобнаго дѣйствія силы словомъ „напоръ"), но удовлетворительнаго объясненія въ большинствѣ случаевъ мы не получаемъ.



44. Рычагъ.

И на самомъ дѣлѣ такимъ простымъ средствомъ можно достигнуть большого дѣйствія. Все же остается вѣрнымъ правило, что всякое дѣйствіе вполнѣ соотвѣтствуетъ затрачиваемой на произведеніе его работѣ; законъ сохраненія энергіи одинаково примѣнимъ въ случаѣ разсмотрѣнія дѣйствія самыхъ простыхъ приспособленій, какъ и въ случаѣ изслѣдованія законовъ, руководящихъ движеніемъ небесныхъ тѣлъ. Далѣе мы уяснимъ себѣ связь между силою и дѣйствіемъ, которыя она производитъ, изъ разсмотрѣнія дѣйствія рычага и такъ называемыхъ простыхъ машинъ, для которыхъ онъ является прототипомъ.

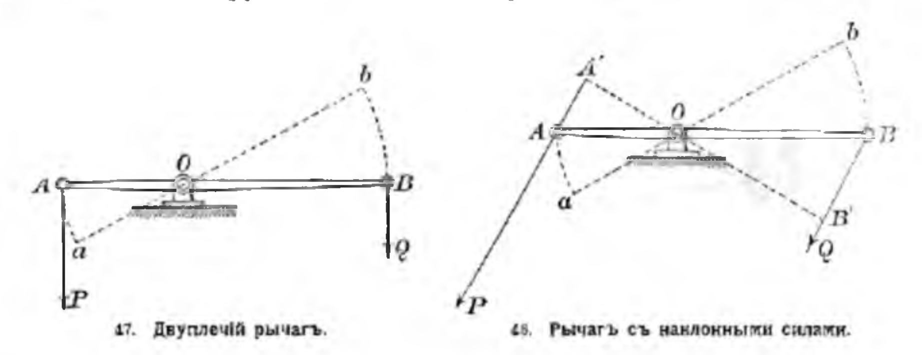


45 и 46. Одноплечій рычагъ.

Рычагъ. Подъ рычагомъ подразумѣваютъ вообще не гнущійся стержень, могущій вращаться около неподвижной точки опоры подъ вліяніемъ двухъ силъ, стремящихся вращать его въ противоположномъ направленіи. Одна изъ дѣйствующихъ силъ такъ и обозначается только терминомъ „сила", другая, оказывающая ей сопротивленіе, называется „грузомъ". Если точки приложенія силъ лежатъ по одну сторону относительно точки опоры, то рычагъ называется одноплечимъ (рис. 45 и 46); если же эти точки лежатъ по разныя стороны относительно точки опоры, то рычагъ называется двуплечимъ (рис. 47). Разстоянія или длины рычага отъ точекъ приложенія силъ до точки опоры называются плечами рычага, одно плечомъ силы, другое плечомъ груза, если направленія силъ къ нимъ перпендикулярны (на рис. 45—47, OA и OB). Если силы направлены иначе, то плечами силъ нужно считать длину перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ точки опоры на направленія силъ (OA' и OB' на рис. 48). Что силы, прилагаемыя къ рычагу, не должны быть непремѣнно равны, когда рычагъ находится въ равновѣсіи, достаточно объясняется примѣромъ, которому соотвѣтствуетъ рис. 44. Когда работникъ при помощи рычага удерживаетъ въ равновѣсіи тяжелый камень, то онъ знаетъ, что ему тѣмъ легче его сдержать, чѣмъ ближе точка опоры къ точкѣ приложенія груза или чѣмъ длиннѣе самый рычагъ.

Уже раньше въ одной изъ предыдущихъ главъ были даны условія рав-

новѣсія рычага, какъ слѣдствіе теоремы о статическихъ моментахъ. Особаго закона рычага не существуетъ. Онъ представляетъ собою скорѣе перефразировку закона параллелограмма силъ. Выражается онъ слѣдующимъ образомъ: обѣ силы находятся въ равновѣсіи, когда произведеніе изъ силы на плечо силы=произведенію изъ груза на плечо груза; $P \cdot OA = Q \cdot OB$ (рис. 45—47) или $P \cdot OA' = Q \cdot OB'$ (рис. 48). Отсюда уже ясно, какъ дѣйствуетъ сила при употребленіи рычага, изображеннаго на рис. 44. Чѣмъ больше длина того конца рычага, на который дѣйствуетъ сила (т.-е. рука рабочаго) по отношенію къ плечу груза ab, тѣмъ большій вѣсъ можетъ имѣть уравновѣшиваемый ею грузъ. Если длина отрѣзка ab=20 см., а плечо силы



47. Двуплечій рычагъ. 48. Рычагъ съ наклонными силами.

имѣетъ въ длину 1 м., то грузъ въ 50 кгр. можетъ быть уравновѣшенъ давленіемъ въ 10 кгр.

Таковы условія равновѣсія рычага, но при этомъ почти никогда не достигается положеніе вполнѣ устойчиваго равновѣсія; всегда будутъ происходить нѣкоторыя колебанія рычага, то грузъ подымается, то сила, сопротивляющаяся его давленію, перетягиваетъ. Однимъ словомъ, совершается нѣкоторая полезная работа. Законъ подвижного равновѣсія таковъ: произведеніе силы на путь, совершаемый точкой приложенія


49. Примѣненіе двуплечаго рычага.


50. Примѣненіе одноплечаго рычага.

силы, = произведенію груза на путь, проходимый точкой приложенія груза (рис. 45 — 48). Это иное выраженіе прежняго закона. Предыдущая формула прямо геометрически выводится изъ только-что приведенной. Отсюда слѣдуетъ заключить, что все, что выигрывается въ силѣ, теряется вмѣстѣ съ тѣмъ въ скорости (т.-е. въ пути или во времени). Какъ мы видѣли раньше, производимая работа выражается произведеніемъ изъ величины силы на высоту поднятія по вертикали. Такимъ образомъ при движеніи рычага дѣйствіе, производимое силой, соотвѣтствуетъ количеству затрачиваемой работы. Законы рычага находятся въ согласіи съ принципомъ сохраненія энергіи; въ энергіи мы ничего не выигрываемъ.

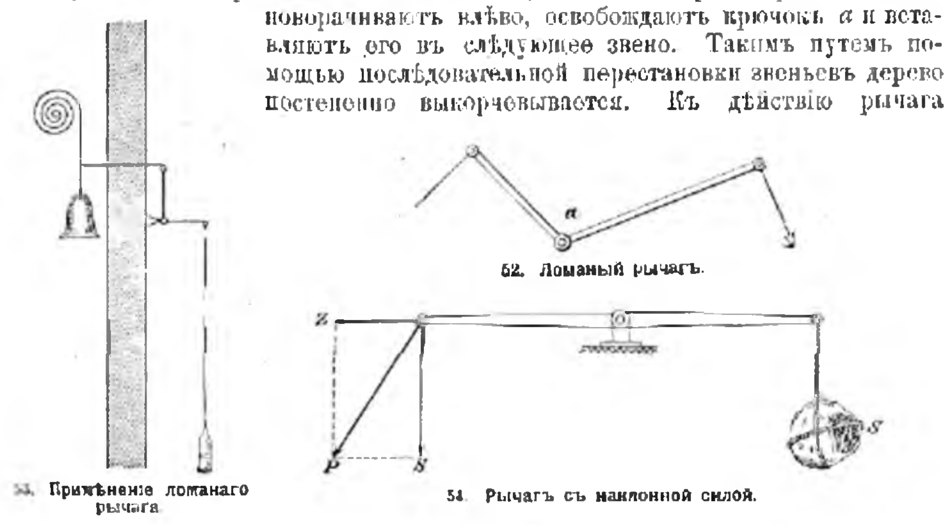
Рычагъ, даже въ самой простой формѣ, находитъ донынѣ самое широкое примѣненіе именно вслѣдствіе этой простоты, дешевизны и легкаго способа употребленія. Ножницы представляютъ изъ себя не что иное, какъ двуплечій рычагъ, щипцы для орѣховъ — совокупность двухъ одноплечихъ рычаговъ. Камень у точилки, употребляемой для оттачиванія ножей, которую носятъ точильщики по дворамъ съ знакомымъ всѣмъ выкрикомъ,

также приводится въ движеніе при помощи одноплечаго рычага. Рис. 51 представляетъ корчевальную машину, служащую для вырыванія деревьевъ съ корнемъ; этотъ приборъ развиваетъ довольно большую силу. $k c b$ представляетъ желѣзный рычагъ, точка опоры котораго с какимъ-нибудь образомъ, ну, хотя бы прочной цѣпью, скрѣпляется съ деревяннымъ пнемъ, врытымъ глубоко въ землю. Къ дереву, предназначенному для корчеванія, возможно выше прикрѣпляется подъемный шестъ, но нужно смотрѣть, чтобы сукъ, къ которому онъ прикрѣпленъ, былъ достаточно крѣпокъ и не оборвался бы одинъ. Рычагъ примѣняется попеременно въ двухъ видахъ: то въ формѣ одноплечаго, то въ формѣ двуплечаго. Къ шесту прикрѣпляется цѣпь, одно изъ звеньевъ которой зацѣпляетъ за крючокъ b, придѣланный къ концу рычага. У другого конца k находятся рабочіе, которые тянутъ рычагъ (при такомъ положеніи, какъ на рисункѣ) какъ можно дальше влѣво; затѣмъ вставляютъ крючокъ a въ слѣдующее звено цѣпи, крючокъ b отнимаютъ и тянутъ рычагъ вправо.



51. Корчевальная машина.

Послѣ того крючокъ b переставляется еще на одно звено впередъ, рычагъ опять поворачиваютъ влѣво, освобождаютъ крючокъ a и вставляютъ его въ слѣдующее звено. Такимъ путемъ помощью послѣдовательной перестановки звеньевъ дерево постепенно выкорчевывается.



52. Ломаный рычагъ.

53. Примѣненіе ломанаго рычага.

54. Рычагъ съ наклонной силой.

Къ дѣйствію рычага инструмента присоединяется еще дѣйствіе естественнаго рычага, представляемаго самимъ деревомъ: вѣдь, въ самомъ дѣлѣ, его стволъ можно разсматривать, какъ двуплечій рычагъ. На $m\ n$ дѣйствуетъ сила, тогда какъ корни представляютъ плечо груза; къ нему приложена сила, противодѣйствующая вырыванію корней изъ твердаго грунта земли. Много различныхъ вещей домашняго обихода и другихъ предметовъ, употребляемыхъ

въ общежитіи, какъ-то: тачка, щипцы, весла, машина для рѣзанія хлѣба и пр. представляютъ изъ себя обыкновенный рычагъ или болѣе сложное устройство того же типа.

До сихъ поръ мы разсматривали только прямолинейные рычаги, т.-е. такіе, гдѣ стержень рычага, или линія, соединяющая точки приложенія силъ и точку опору, прямая. Принципъ дѣйствія или въ частности законы рычага остаются въ силѣ и въ примѣненіи къ ломаному рычагу (рис. 52). *Послѣдніе употребляются въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ направленіе силы далеко* не совпадаетъ съ направленіемъ дѣйствія груза, что будетъ напр. тогда, если грузъ, дѣйствуя въ вертикальномъ направленіи, долженъ производить нѣкоторое натяженіе по горизонтальному направленію, какъ это бываетъ при употребленіи звонка (рис. 53).

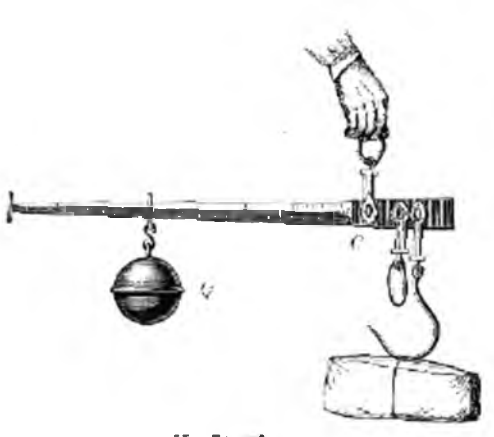
Сила, дѣйствующая на рычагъ, тогда только вся идетъ въ счетъ, когда она направлена перпендикулярно рычагу, т.-е. когда плечо силы и плечо рычага совпадаютъ. Это слѣдуетъ изъ закона рычага и поясняется рисункомъ. Вѣдь, если бы сила дѣйствовала въ направленіи, перпендикулярномъ къ рычагу, нужно бы было ввести произведеніе $P. OA$ вмѣсто произведенія $P. OA'$, а такъ какъ плечо силы, изображаемое перпендикуляромъ OA', меньше, чѣмъ плечо рычага OA, то значитъ, когда сила дѣйствуетъ подъ угломъ, эффектъ, производимый ею, меньше. По правилу параллелограмма сила (рис. 54) P разлагается на двѣ: силу S, направленную перпендикулярно рычагу, которая и оказываетъ существенное дѣйствіе и силу Z, которая, имѣя направ*леніе, совпадающее съ направленіемъ рычага, не производитъ какого-либо* полезнаго дѣйствія, а стремится растянуть рычагъ или оказываетъ на него давленіе, сообщаемое точкѣ опоры.

При помощи обыкновеннаго простого рычага можно произвести значительное давленіе и поднять большую тяжесть, но всѣ эти дѣйствія совершаются на маломъ протяженіи; для полученія продолжительнаго движенія служатъ такъ называемыя простыя машины: блокъ, воротъ и подобные имъ приборы, основанные на томъ же принципѣ, что и рычагъ, но объ нихъ рѣчь будетъ въ слѣдующей главѣ.

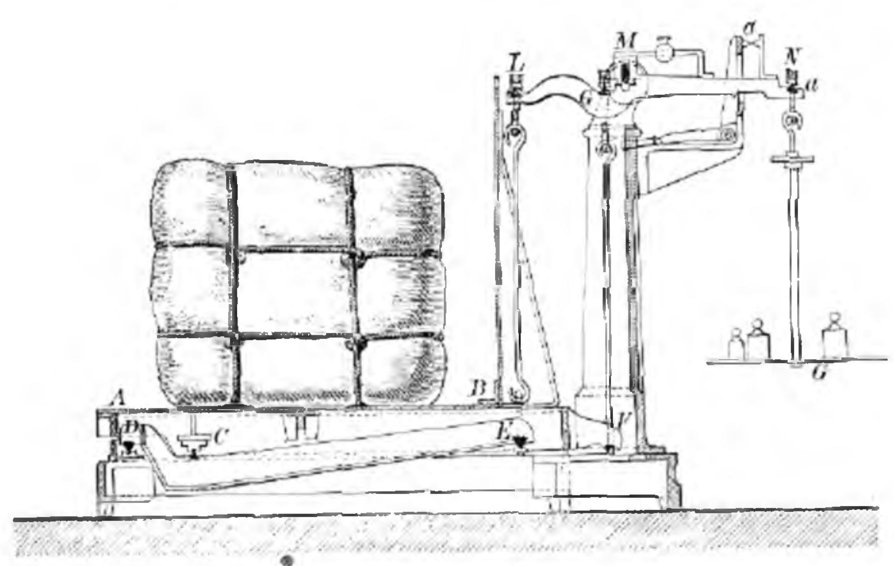
Наиболѣе важный приборъ, основанный на примѣненіи рычага, это— вѣсы. Подробное описаніе вѣсовъ и пріемовъ взвѣшиванія находится во II-ой части въ главѣ „О мѣрахъ и вѣсахъ". Тамъ же можно найти описаніе точныхъ химическихъ вѣсовъ и вообще вѣсовъ, служащихъ для научныхъ работъ. Здѣсь же мы коснемся только описанія вѣсовъ, употребляемыхъ въ техникѣ.

Употреблявшіеся раньше вѣсы при увеличеніи торговыхъ сношеній и договоровъ оказались уже недостаточно удовлетворительными. Много затрудненій между прочимъ представляло взвѣшиваніе тяжелыхъ предметовъ. Еще и теперь можно встрѣтить въ старыхъ лавкахъ, въ особенности въ гостиныхъ дворахъ съ крытыми галлереями или въ Залахъ Совѣта старыхъ городовъ огромные вѣсы, состоящіе изъ тяжелой балки, представляющей изъ себя двуплечій рычагъ, подвѣшенный подъ какимъ-нибудь сводомъ, съ прикрѣпленными къ ней при помощи каната или цѣпи большими платформами для груза. На такихъ вѣсахъ можно взвѣсить различныя торговыя имущества до 100 клгр. вѣсомъ, такъ что можно вѣшать мелкій убойный скотъ, а если размѣры вѣсовъ позволяютъ, то даже и крупный скотъ. Но какого труда это стоитъ. Когда коромысло вѣсовъ представляетъ равноплечій рычагъ, какъ то въ большинствѣ случаевъ бываетъ при устройствѣ такихъ старинныхъ тяжеловѣсныхъ приборовъ, для уравновѣшиванія даннаго груза необходимо на другую чашку вѣсовъ положить грузъ равнаго вѣса. Для взвѣшиванія тяжелыхъ предметовъ, съ современной намъ точки зрѣнія, какъ-то особенно крупныхъ частей машинъ, нагруженныхъ повозокъ или желѣзнодорожныхъ вагоновъ

требуются приборы иного устройства, причемъ на первый планъ должна быть выставлена возможность уравновѣсить большую тяжесть гирей значительно меньшаго вѣса. Законы рычага являются здѣсь какъ нельзя болѣе кстати. Стоитъ только плечо груза сдѣлать въ соотвѣтственное число разъ меньше того плеча, на которое вѣшаются гири. Такъ напр., чтобы гирей въ 5 кгр. уравновѣшивался грузъ въ 100 кгр., плечо, на которое дѣйствуетъ грузъ, должно быть въ 20 разъ меньше другого. Такое устройство представляетъ изъ себя безмѣнъ (рис. 55). Однимъ противовѣсомъ Q можно уравновѣсить различные грузы, увеличивая или уменьшая соотвѣтствующее *плечо рычага*, что достигается измѣненіемъ положенія точки опоры C. Также можно измѣнять и *плечо груза, причемъ чаще всего*, какъ это показано на рисункѣ, устраиваютъ такъ, что грузъ можетъ *привѣшиваться въ двухъ мѣстахъ*, разстояніе которыхъ отъ точки опоры находится въ простомъ отношеніи, напр. 2 : 3. Если отношеніе это дѣйствительно таково, то для того, чтобы возстановилось равновѣсіе, послѣ того какъ грузъ, находившійся ранѣе въ такомъ положеніи, какъ на рисункѣ, будетъ снятъ и повѣшенъ на другой



55. Безмѣнъ.



56. Десятичные вѣсы

крючокъ, противовѣсъ Q нужно передвинуть вправо на $^1/_3$ разстоянія его отъ точки опоры. Съ такими вѣсами нельзя конечно производить точныхъ взвѣшиваній; но они очень удобны тѣмъ, что легко могутъ быть переносимы съ мѣста на мѣсто, и тѣмъ еще, что для противовѣса достаточно одной гири. Благодаря этому они въ большомъ ходу у разносчиковъ и въ ярмарочномъ торгѣ.

Въ децимальныхъ и сантимальныхъ вѣсахъ наоборотъ соблюдается постоянное отношеніе между плечомъ силы и плечомъ груза; въ первомъ

устройствѣ это отношеніе 1:10, во второмъ 1:100. Для того, чтобы свѣсить на сантимальныхъ вѣсахъ телѣгу съ углемъ, вѣсомъ приблизительно въ 60 центнеровъ (3000 кгр.), достаточно всего какихъ-нибудь 75 фунтовъ. Кромѣ того вѣсы для крупныхъ грузовъ должны еще удовлетворять и другимъ условіямъ. Оставляя въ сторонѣ вопросъ о достиженіи наибольшей точности взвѣшиванія, какъ очевидный, скажемъ еще, что самый способъ нагрузки и сниманія груза послѣ взвѣшиванія долженъ представлять извѣстныя удобства, и кромѣ того конструкція этихъ вѣсовъ, удовлетворяя требованіямъ самаго точнаго взвѣшиванія, должна быть въ то же время достаточно прочной. Всѣмъ извѣстны находящіеся издавна въ повсемѣстномъ употребленіи децимальные вѣсы; ихъ конструкція и пользованіе ими объясняются рисункомъ. Устройство ихъ должно быть таково, чтобы правильность дѣйствія вѣсовъ не нарушалась въ зависимости отъ положенія груза на платформѣ, будетъ ли онъ лежать посрединѣ или съ краю, потому что вѣдь совершенно невозможно установить предметъ такъ, чтобы центръ тяжести находился какъ разъ надъ серединой платформы. Главнѣйшія части вѣсовъ слѣдующія: коромысло LMN, вращающееся около точки опоры M; въ точкѣ N коромысла, на остроконечной призмѣ a виситъ чашка для гирь G. Грузъ Q лежитъ на платформѣ AB; производимое имъ давленіе распадается на двѣ части: съ одной стороны давленіе груза при помощи острія C передается рычагу DCE, опирающемуся на неподвижный шпенекъ D и образующему слѣдовательно одноплечій рычагъ, который далѣе посредствомъ подъемнаго стержня EL скрѣпленъ съ коромысломъ въ точкѣ L; съ другой стороны часть давленія передается непосредственно подъемному стержню FG, привѣшенному къ коромыслу при помощи остроконечной призмы G. Такъ что получающееся въ результатѣ давленіе находится въ зависимости отъ неопредѣленнаго и непостояннаго для различныхъ случаевъ отношенія между плечами груза, считая до точекъ L и G; дѣйствіе конечно остается одно и то же, будетъ ли главная часть давленія груза сосредоточена въ точкѣ L или въ точкѣ G. Это обусловлено тѣмъ, что отношеніе длинъ рычага $DC:DE$ таково же, какъ $GM:LM$. Если это отношеніе 1 : 6, какъ на рисункѣ, то сила давленія въ точкѣ L будетъ составлять $^1/_6$ той силы, съ которою грузъ оказывалъ давленіе на точку C, давленіе же въ точкѣ B вполнѣ передается въ точку G. А такъ какъ плечо рычага ML въ 6 разъ больше, нежели MG, то давленіе опять-таки увеличится въ 6 разъ, то-есть будетъ какъ разъ пропорціонально вѣсу груза. Стало-быть, въ общемъ давленіе будетъ таково же, какъ если бы грузъ былъ привѣшенъ въ точкѣ G, и слѣдовательно при разсчетѣ длины MN плеча рычага, къ которому привѣшиваются гири, нужно принимать во вниманіе именно эту длину MG. Отношеніе между этими длинами 1 : 10, такъ что вѣсъ гирь въ точкѣ N соотвѣтствуетъ $^1/_{10}$ взвѣшиваемаго груза, почему вѣсы и называются децимальными, или десятичными. Въ точкѣ a находятся два острія, которыя будутъ стоять какъ разъ другъ противъ друга, если вѣсы придутъ въ равновѣсіе. Когда вѣсы не находятся въ употребленіи, посредствомъ особой ручки можно поднять коромысло и укрѣпить его такъ, чтобы оно въ точкѣ M не лежало на остріи призмы и это послѣднее напрасно не портилось. Кромѣ чашки для гирь вѣсы снабжены еще подвижной гирькой. Кладя гири на чашку вѣсовъ, стремятся достигнуть только приблизительнаго равновѣсія, напр. до 5 кгр., для болѣе же точнаго взвѣшиванія употреблютъ подвижную гирьку. Тутъ примѣнено устройство, подобное безмѣну, но дающее бо̀льшую точность. На стержнѣ насаживается маленькая подвижная гирька, перемѣщая которую, можемъ добиться того, что острія вѣсовъ сойдутся; тогда отсчитывая показаніе шкалы, вырѣзанной на стержнѣ, узнаемъ *добавочный вѣсъ, который нужно прибавить къ вѣсу гирь, положенныхъ на* чашку вѣсовъ.

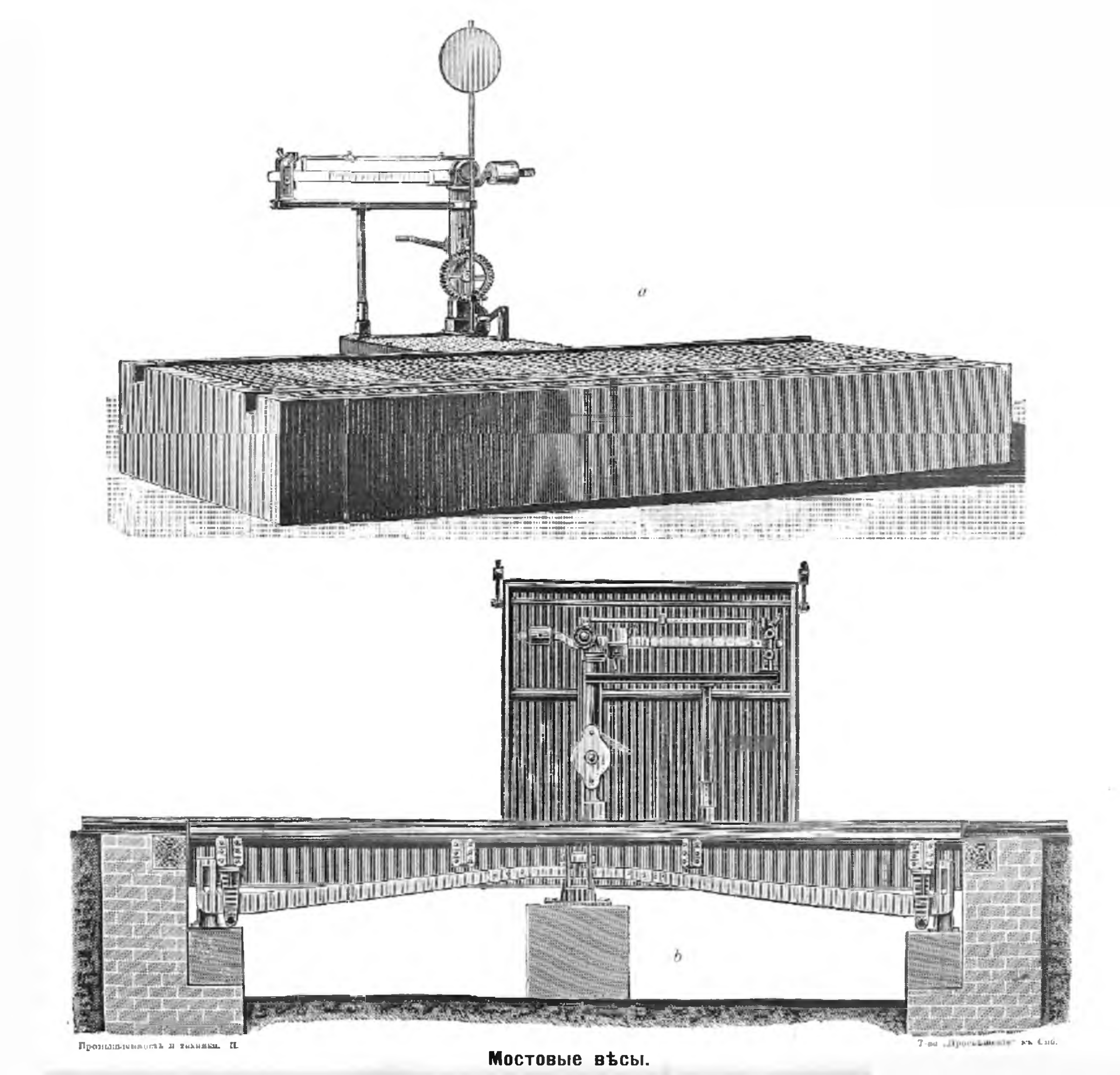
Такіе вѣсы съ платформой, обыкновенно употребляемые въ торговомъ дѣлѣ, не приспособлены для точныхъ измѣреній, да отъ нихъ такой большой уже чувствительности и не требуется. Такъ какъ, не прибѣгая къ помощи подвижной гирьки, пользуются гирей самое меньшее вѣсомъ въ 1 гр., такъ что точность взвѣшиванія ограничивается 10 g. Но обыкновенно-то на практикѣ при взвѣшиваніи на децимальныхъ вѣсахъ довольствуются значительно меньшей точностью; если не употреблять гири вѣсомъ меньше 10 гр. и не прибѣгать къ помощи подвижной гирьки, то ошибка взвѣшиванія можетъ достигнуть $^1/_{10}$ кгр., а если грузъ вѣситъ 100 кгр., то ошибка достигаетъ $^1/_{1000}$. Аппараты такого рода особенно хорошей конструкціи могутъ допускать значительную точность взвѣшиванія и могутъ даже употребляться съ научною цѣлью. Такими вѣсами при нагрузкѣ въ 300 кгр. чувствуются еще доли грамма, такъ напримѣръ можно обнаружить потерю вѣса вслѣдствіе испаренія воды, выдѣляющейся изъ растеній.

На рис. 57 и затѣмъ на прилагаемомъ листѣ изображены одни изъ лучшихъ вѣсовъ съ платформой или мостовые вѣсы Карла Шенка въ Дармштадтѣ, подобные тѣмъ, которые теперь употребляются повсемѣстно на желѣзныхъ дорогахъ, на большихъ заводахъ, во многихъ городахъ, какъ городскіе вѣсы, предоставленные во всеобщее пользованіе для того, чтобы вѣшать уголь и прочіе матеріалы. Повозка или же-



57. Мостовые вѣсы. (Разрѣзъ).

лѣзнодорожный вагонъ въѣзжаетъ на платформу, по которой проложены рельсы такіе же, какъ на остальномъ протяженіи пути (если вѣсы спеціально употребляются для желѣзной дороги), или же рельсы только вдаются въ платформу, такъ что они находятся на одинаковой съ ней высотѣ, и только сдѣланы два узкихъ прорѣза для колесъ. Такое устройство примѣняется съ цѣлью сдѣлать вѣсы пригодными и для взвѣшиванія повозокъ. Оба рельса покоятся на прочныхъ продольныхъ подпоркахъ, плотно скрѣпленныхъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ поперечными балками; на эти рельсы устанавливается кладь. Посредствомъ этихъ рельсовъ давленіе передается двумъ парамъ одноплечихъ рычаговъ (см. рис.) вблизи ихъ точекъ опоры. Обѣ пары скрѣпляются одна съ другой въ формѣ треугольника. На томъ концѣ, куда кладется грузъ, онѣ скрѣплены общей осью; на другомъ же концѣ въ серединѣ вѣсовъ обѣ пары сходятся, образуя два общихъ плеча; отъ этихъ плечъ давленіе передается далѣе еще одному рычагу, расположенному перпендикулярно продольному направленію, такъ называемому коммуникатору, тоже вблизи точки опоры (рис. 57), такъ что плечо силы оказывается мало, и затѣмъ уже конецъ этого рычага посредствомъ подъемнаго стержня скрѣпленъ съ аппаратомъ вѣсовъ. Такимъ образомъ давленіе на чашку вѣсовъ, переданное при помощи двухъ рычаговъ, уже значительно уменьшилось. Для взвѣшиванія клади на этихъ вѣсахъ поль-



Промышленность и техника. II.

Т-во „Просвѣщеніе" въ Спб.

Мостовые вѣсы.

зуются почти исключительно подвижной гирькой. Подъемный шестъ дѣйствуетъ на короткое плечо двуплечаго коромысла, на длинное же плечо насаженъ главный подвижной грузъ, при помощи котораго вѣсы приблизительно устанавливаются въ равновѣсіи; болѣе же точная установка достигается перемѣщеніемъ другой значительно меньшей гирьки, передвигаемой по шкалѣ, расположенной выше главнаго рычага (см. прилож. рисунокъ).

По большей части каждое дѣленіе большой шкалы указываетъ вѣсъ груза въ 100 килогр., тогда какъ болѣе мелкія дѣленія даютъ килограммы. Вся часть аппарата вѣсовъ, лежащая выше фундамента, заключена въ особую массивную желѣзную коробку (какъ видно на рисункѣ) и при употребленіи вѣсовъ открываютъ только сдѣланную въ ней форточку. Приборъ обыкновенно помѣщается вблизи самой платформы въ особой будочкѣ, гдѣ долженъ находиться также и вѣсовщикъ. На рис. видно, что внизу вправо отъ аппарата находится сигнальный значекъ. При горизонтальномъ положеніи кружка не дозволяется повозкѣ въѣзжать на платформу вѣсовъ прежде, чѣмъ вѣсовщикъ не разгрузитъ вѣсовъ, воспользовавшись для этого особымъ механизмомъ, который вмѣстѣ съ тѣмъ подыметъ сигнальный кружокъ, что послужитъ знакомъ для въѣзда повозки на платформу.

Вѣсы подобной конструкціи предназначаются для груза отъ 20 000—60 000 килогр. Чувствительность ихъ различна въ зависимости отъ того, для какой цѣли они назначены. При особенно тщательной выдѣлкѣ чувствительность достигаетъ 1 : 15 000, то-есть при взвѣшиваніи нагруженнаго вагона чувствуются еще даже единицы килограммовъ.

Во многихъ мѣстахъ можно видѣть вѣсы съ самодѣйствующимъ регистромъ. Такіе аппараты самостоятельно выдавливаютъ на билетикахъ вѣсъ, полученный установкой подвижной гирьки. Въ билетикахъ отдѣлены гранки для десятковъ тысячъ, тысячъ, сотенъ, десятковъ и единицъ килограммовъ; въ каждой гранкѣ выдавливается соотвѣтствующее число. Такимъ путемъ устраняется невѣрное показаніе вѣса вслѣдствіе того, что вѣсовщикъ можетъ ошибиться въ отчетѣ дѣленій шкалы. Аппаратъ безусловно вѣрно показываетъ найденный вѣсъ, и билетъ съ оттиснутыми на немъ цифрами прямо можетъ служить документомъ относительно произведеннаго взвѣшиванія.

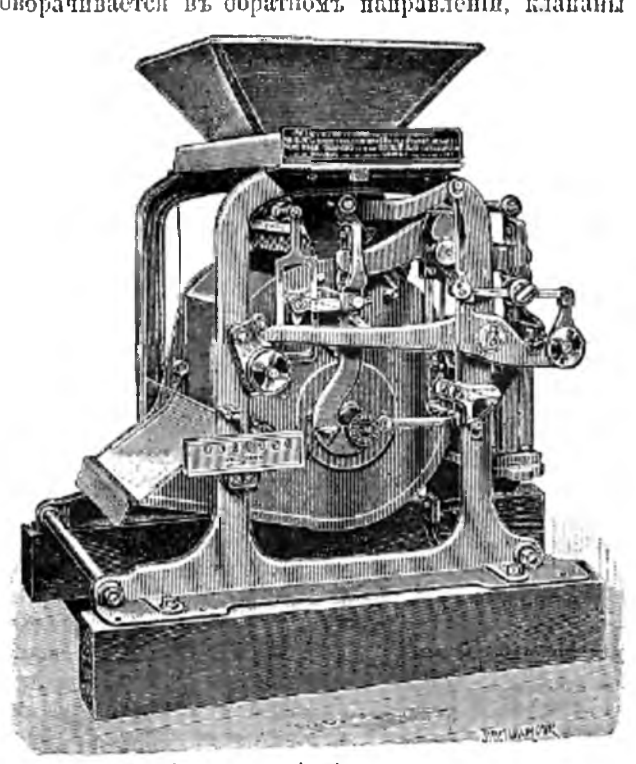
Для нѣкоторыхъ цѣлей, требующихъ быстраго взвѣшиванія, причемъ точность взвѣшиванія стоитъ на второмъ планѣ, какъ напримѣръ для взвѣшиванія багажа на желѣзныхъ дорогахъ, употребляютъ вѣсы такого устройства, которое представляетъ изъ себя комбинацію системы указателя съ системой передвижной гирьки. При помощи ручки грузикъ устанавливаютъ приблизительно по 0,50 или 100 килогр. и т. д., указатель же затѣмъ покажетъ, сколько еще нужно прикинуть килограммовъ. Въ фабричномъ производствѣ, гдѣ приходится ежедневно взвѣшивать массу повозокъ, движущихся по рельсамъ, одинаковаго приблизительно вѣса, какъ-то тачки, употребляемыя при работахъ въ угольныхъ копяхъ, въ горномъ промыслѣ, при добываніи торфа, на цементныхъ заводахъ или въ доменныхъ печахъ, во всѣхъ этихъ случаяхъ употребляютъ автоматическіе самопишущіе аппараты. Система расположенія рычаговъ здѣсь подобна той, которая употребляется въ описанныхъ нами желѣзнодорожныхъ вѣсахъ.

Вѣсъ каждой отдѣльной повозки, движущейся по фабричному желѣзнодорожному пути (угольныя телѣжки, платформы и т. п.) долженъ быть въ извѣстныхъ предѣлахъ почти одинаковымъ, разница примѣрно не должна превышать 150 килогр. Подобнаго недостатка не обнаруживается въ правильно поставленномъ дѣлѣ; пустыя телѣжки уже напередъ устроиваются приблизительно одинаковаго вѣса; если минимальная нагрузка составляетъ 600 килогр., а максимальная 700, то на чашку вѣсовъ (на рис. справа вверху) кладется гиря, уравновѣшивающая 600 килогр.; т.-е. если передача

100, кладется 6 килогр., и число сотенъ килограммовъ обозначается указателемъ, поставленнымъ противъ шестерки. При каждомъ взвѣшиваніи числа, означающія промежуточные вѣса, напримѣръ 635, 664, выдавливаются на особыхъ билетикахъ, которые складываются въ особый ящикъ. При употребленіи аппарата требуется единственно установка минимальнаго разновѣса и затѣмъ выниманіе и вкладываніе билетиковъ. Каждый вечеръ или вообще при повѣркѣ аппарата можно убѣдиться простымъ сложеніемъ, сколько (по вѣсу) истрачено или получено груза: угля, руды и проч. Можно кромѣ того снабдить удобнымъ въ практикѣ контролирующимъ приборомъ. Коромысло вѣсовъ связано съ перпендикулярнымъ къ нему рычагомъ, который будетъ находиться въ равновѣсіи до минимальной нагрузки, какая можетъ еще быть допущена. Если нагрузка окажется менѣе заранѣе назначеннаго минимальнаго вѣса, для котораго установленъ рычагъ вѣсовъ, то поперечный рычагъ получитъ перевѣсъ и воспрепятствуетъ производству взвѣшиванія. Рельсовый путь прегражденъ нѣкоторымъ запоромъ, который тогда только открывается и представляетъ свободный проѣздъ, когда вѣсъ ввозимой клади болѣе минимальнаго. Какъ только повозка въѣдетъ, запоръ за ней тотчасъ закрывается, такъ что съѣхать назадъ она не можетъ, и такимъ образомъ устраняется возможная ошибка повторнаго двойного взвѣшиванія. Такимъ образомъ безъ помощи чьего-либо присмотра получается вполнѣ вѣрный и неподверженный злоупотребленіямъ контроль относительно требованія или потребленія даннаго груза. Вмѣсто аппарата съ регистромъ, отмѣчающимъ вѣса отдѣльныхъ кладей, примѣняется особый аппаратъ, дѣлающій подсчетъ результатамъ отдѣльныхъ взвѣшиваній и дающій прямо итогъ, такъ что во всякое время можно прочесть, какъ великъ вообще вѣсъ всего, подвергавшагося до сихъ поръ взвѣшиванію груза. Главнымъ образомъ аппаратомъ этимъ пользуются тамъ, гдѣ не требуется знать вѣсъ отдѣльной нагрузки, но общее количество затраченнаго матеріала и расходъ его за извѣстный промежутокъ времени, напримѣръ для того, чтобы узнать, сколько потребно угля для доменной печи или парового котла.

Въ нѣкоторыхъ большихъ производствахъ, какъ-то: на большихъ мукомольныхъ мельницахъ, на масляныхъ фабрикахъ, на пивоваренныхъ заводахъ, и въ хлѣбныхъ складахъ весьма важно бываетъ быстро и точно взвѣсить большое количество хлѣба. Особенно при современномъ устройствѣ большихъ мельницъ и хлѣбныхъ магазиновъ накладка зерна производится автоматически при помощи машинъ. Такъ, привезенная изъ-за моря пшеница прямо съ корабля поднимается наверхъ при помощи элеватора; тамъ она насыпается въ большія воронки, откуда попадаетъ на широкіе передаточные ремни приводимые въ движеніе. Гдѣ-нибудь на пути помѣщается взвѣшивающій аппаратъ, но такъ, чтобы онъ не мѣшалъ идти всему своимъ порядкомъ. Здѣсь никакъ нельзя пользоваться обыкновеннымъ взвѣшиваніемъ при помощи децимальныхъ вѣсовъ или вѣсовъ съ платформой. Для этого употребляются такъ называемые **автоматическіе вѣсы**, производящіе взвѣшиваніе зернового хлѣба или другого какого-либо товара во время самой перегрузки и не требующіе посторонняго присмотра. Изобрѣтеніе и распространеніе этого аппарата приписывается Генеффской машинной фабрикѣ, подъ фирмой К. Рейтеръ и Рейзертъ (C. Reutheur & Reisert) въ Генеффѣ. И дѣйствительно, почти всюду имѣются эти приборы въ производствахъ такого рода. Рис. 58 представляетъ автоматическіе вѣсы для зернового хлѣба, подъ названіемъ „Хроносъ", устроенные названной фирмой. Зерно безпрестанно скатывается по желобу и передаточному ремню въ воронку, устроенную надъ аппаратомъ вѣсовъ, а оттуда въ находящійся внизу барабанъ, вращающійся около горизонтальной оси. Эта послѣдняя опирается на два острія, прикрѣпленныя къ одному изъ плечъ двуплечаго рычага; къ

другому привѣшиваются гири. Между воронкой и барабаномъ находится механизмъ для впуска зерна, снабженный двумя клапанами, первый пріостанавливаетъ впускъ зерна, когда извѣстная норма почти уже достигнута, второй окончательно преграждаетъ доступъ дальнѣйшему впуску въ тотъ моментъ, когда вѣсы находятся въ равновѣсіи. Въ то же время освобождается арретиръ, который удерживалъ на остріяхъ могущій вращаться барабанъ, вслѣдствіе чего тотъ опрокидывается, и содержимое высыпается внизъ; вмѣстѣ съ тѣмъ открывается клапанъ, видимый на рисункѣ слѣва; до тѣхъ поръ онъ былъ заложенъ сверху болтомъ. Послѣ окончательнаго опоражниванія барабанъ поворачивается въ обратномъ направленіи, клапаны опять открываются, а арретиръ укрѣпляетъ его въ прежнемъ положеніи. Всѣ эти обстоятельства идутъ одно за другимъ сами собой въ строгой послѣдовательности. Небольшая сила, потребная для приведенія механизма въ движеніе, сообщается вѣсомъ самаго зерна; при этомъ въ барабанѣ масса размѣщается такимъ образомъ, что, будучи наполненъ, онъ опрокидывается внизъ, и наоборотъ, когда онъ окажется пустымъ, то получитъ перевѣсъ сила, стремящаяся вернуть его къ прежнему положенію. Вѣсы работаютъ очень быстро, такъ какъ зерно быстро насыпается въ барабанъ; только всякій разъ, какъ наполняется барабанъ, подконецъ оно сыплется медленнѣе, давая возможность точнѣе произвести взвѣшиваніе. Дѣйствіе вѣсовъ сообразуется съ впускомъ зерна, предназначеннаго для взвѣшиванія, и съ выпускомъ его послѣ взвѣшиванія. Если встрѣчается препятствіе къ выпуску, то опрокинувшійся уже барабанъ опоражнивается медленнѣе и даже совсѣмъ останавливается, если произойдетъ чрезмѣрное скопленіе зерна; такимъ образомъ правильный ходъ дѣла прекращается. Автоматическіе вѣсы „Хроносъ“ снабжены, какъ и вѣсы съ платформой, самодѣйствующимъ аппаратомъ; дѣйствіе ихъ столь точно и вѣрно, что они признаются образцовыми. Производительность ихъ дозволяетъ взвѣсить ежедневно (въ теченіе 10 час.) до 150 000 килогр. ржи или пшеницы, что соотвѣтствуетъ содержимому 150 большихъ вагоновъ.



58. Автоматическіе вѣсы для зерна.

Безпрестанное увеличеніе торговыхъ сношеній и огромный ростъ промышленности ставитъ все новыя и болѣе сложныя задачи техникамъ, изобрѣтателямъ, и если въ какой-нибудь отрасли оказывается насущная необходимость найти новое средство вспоможенія, то оно въ большинствѣ случаевъ скоро находится. Такія приспособленія, какъ вѣсы съ платформой,

на которыхъ въ одинъ пріемъ можно взвѣсить грузъ до 100 000 килогр., или автоматическіе вѣсы, вѣшающіе безъ помощи ручного труда ежедневно количество зернового хлѣба, составляющее содержимое не одного поѣзда, были еще за нѣсколько десятилѣтій вовсе неизвѣстны, да и врядъ ли при современномъ состояніи техники можно было составить о нихъ ясное представленіе; *главную же причину этого нужно видѣть въ томъ, что тогда не* было надобности въ производствѣ такихъ измѣреній, какія необходимы теперь.

Простыя машины. Подъемныя сооруженія.

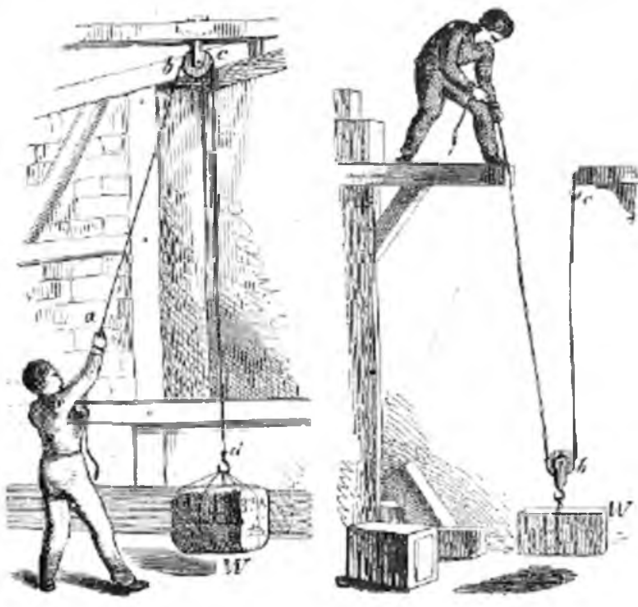
Блокъ подвижной и неподвижный. Полиспастъ. Дифференціальный полиспастъ. Воротъ. Кабестанъ. Домкратъ. Зубчатыя колеса. Передаточные механизмы. Ходовыя колеса. Наклонная плоскость. Винтъ. Корабельный винтъ. Пароходъ съ винтомъ. Краны.

Техника подъемныхъ сооруженій играетъ важную роль въ строительномъ искусствѣ, въ машиностроеніи и въ наиболѣе обширныхъ отрасляхъ промышленности. При всякой болѣе или менѣе значительной постройкѣ употребляются особыя сооруженія для подъема, начиная съ блока и полиспаста и кончая паровой лебедкой, движущейся по рельсамъ, проложеннымъ по землѣ и по стропиламъ. Прямо съ механической точки зрѣнія подъемъ матеріала на верхъ лѣсовъ посредствомъ особаго подъемнаго сооруженія нужно признать болѣе раціональнымъ, нежели переносъ при помощи рабочихъ, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ въ видѣ безполезной ноши приходится втаскивать наверхъ тяжесть собственнаго тѣла, вѣсъ котораго куда значительнѣе, чѣмъ вѣсъ нужнаго для постройки груза, будь то камень или другой строительный матеріалъ; тогда какъ при пользованіи особой подъемной машиной рабочій остается внизу, и работа вся идетъ на подъемъ матеріала, да развѣ самая малая доля ея тратится безполезно на подъемъ корзины или ящика. При очень большихъ постройкахъ является даже въ концѣ концовъ болѣе цѣлесообразнымъ замѣнить дорого стоющій ручной трудъ рабочихъ паровой машиной.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію простѣйшихъ видовъ приспособленій, служащихъ для измѣненія дѣйствія механической силы, т.-е. такъ называемыхъ простыхъ машинъ, которыя представляютъ водоизмѣненія рычага, такъ что въ основаніи ихъ устройства лежатъ тѣ же законы. Подъ названіемъ простыхъ машинъ разумѣютъ вообще группу простѣйшихъ приборовъ, которые постольку отвѣчаютъ названію машинъ, поскольку дозволяютъ извлекать выгоду изъ явленій, происходящихъ во вселенной, и пользоваться силами природы для практическихъ цѣлей, причемъ, слѣдуя идеѣ простоты, дѣйствіе ихъ не должно быть основано на какой-либо сложной группировкѣ отдѣльныхъ положеній или законовъ механики, равно какъ въ устройствѣ своемъ онѣ должны представлять лишь простое расположеніе отдѣльныхъ частей. По цѣли производимаго дѣйствія машины эти должны отвѣчать слѣдующимъ назначеніямъ: 1) служить для измѣненія направленія силы (простой блокъ), 2) для перемѣны точки приложенія силы, 3) для увеличенія силы за счетъ быстроты производимаго дѣйствія или протяженія проходимаго тѣломъ пути, а также обратно для увеличенія скорости или пути въ связи съ уменьшеніемъ напряженія силы, и 4) для соединенія нѣсколькихъ подобнаго рода дѣйствій.

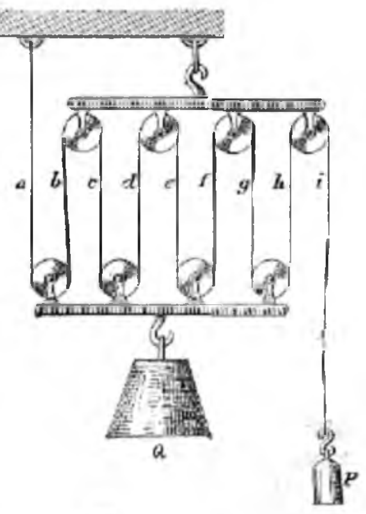
Блокъ. Въ наиболѣе простомъ видѣ, въ видѣ неподвижнаго блока, онъ примѣняется для того, чтобы прилагаемой силѣ сообщить иное направленіе. Увеличенія силы или скорости при помощи неподвижнаго блока нельзя достигнуть. Обыкновенно блокъ представляетъ изъ себя круглое колесико, которое можетъ вращаться во втулкѣ около центральной оси; для продѣва-

нія шнура по ободу колеса сдѣланъ желобокъ. Неподвижный блокъ плотно сидитъ во втулкѣ (рис. 59). Съ одного конца къ веревкѣ привѣшивается грузъ W въ точкѣ d, къ другому концу a приложена сила (рабочаго). Насколько грузъ долженъ быть поднять вверхъ, настолько рабочій долженъ оттянуть веревку книзу; путь, проходимый точкой приложенія груза, равенъ пути, проходимому точкой приложенія силы, такъ же, какъ сила и грузъ уравновѣшиваютъ другъ друга; впрочемъ, первая должна быть больше, такъ какъ грузъ приходится приподнять вверхъ, и кромѣ того нужно преодолѣть треніе, оказываемое веревкой и блокомъ. Такъ что, въ сущности, дѣйствіе таково же, какъ если бы рабочій прямо, стоя наверху, тянулъ къ себѣ грузъ, но послѣднее представляло бы менѣе удобства. На стропилахъ или въ окошкахъ запасныхъ складовъ часто не такъ уже много мѣста и не такъ удобно стоять, какъ внизу на твердой землѣ, и кромѣ того тянуть снизу кверху легче, чѣмъ въ обратномъ направленіи, такъ какъ въ первомъ случаѣ къ дѣйствію силы присоединяется вѣсъ тѣла рабочаго.



59. Неподвижный блокъ. 60. Подвижной блокъ.

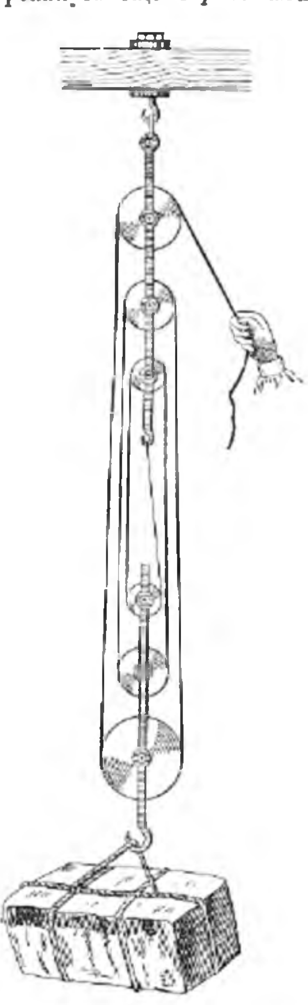
Само собой иначе обстоитъ дѣло, когда употребляютъ подвижной блокъ. Здѣсь грузъ W привѣшивается къ самому блоку посредствомъ крючка b (рис. 60). Одинъ конецъ веревки укрѣпленъ въ точкѣ C, за другой въ точкѣ a тянетъ рабочій. На тотъ и другой концы веревки дѣйствуетъ только половинный грузъ, такъ что силой рабочаго должна быть уравновѣшена только половина вѣса всего груза, а вмѣстѣ съ тѣмъ, значитъ, и усиліе для поднятія груза требуется вполовину меньше, нежели при употребленіи неподвижнаго блока. Зато и тянуть его нужно вдвое дольше, такъ какъ, чтобы втащить наверхъ, нужно къ себѣ притянуть оба конца $ab + bc$. Такимъ образомъ рабочій, дѣйствуя съ половинной силой, долженъ зато работать вдвое дольше. Когда употребляется неподвижный блокъ, то все равно, какое направленіе будетъ имѣть тотъ конецъ веревки, къ которому приложена сила, такъ какъ всякому опусканію веревки на протяженіи отрѣзка опредѣленной длины соотвѣтствуетъ поднятіе груза, вися-



61. Полиспастъ.

щаго вертикально, на высоту, опредѣляемую длиной того же отрѣзка. Въ случаѣ же употребленія подвижнаго блока, напротивъ, меньшій конецъ веревки нужно втащить наверхъ, если оба конца ея, поддерживающіе грузъ, свѣшиваются не вертикально, а подъ угломъ; и чѣмъ тупѣе уголъ, тѣмъ меньше время поднятія, и тѣмъ больше зато должна быть употреблена сила.

Если теперь конецъ веревки, за который тянетъ рабочій (рис. 60), перекинуть еще черезъ неподвижный блокъ такъ, чтобы рабочій тянулъ снизу, то отъ этого не произойдетъ никакого измѣненія ни въ силѣ, ни во времени дѣйствія ея. Здѣсь мы встрѣчаемся съ простѣйшей системой соединенія блоковъ, съ составнымъ блокомъ; такимъ названіемъ обыкновенно обозначаютъ соединеніе подвижного блока съ неподвижнымъ. Можно придумать нѣсколько различныхъ соединеній подобнаго рода, и во всѣхъ подобныхъ комбинаціяхъ отношеніе силы къ давленію груза зависитъ только отъ числа подвижныхъ блоковъ и отъ ихъ расположенія; неподвижные блоки на него нисколько не вліяютъ и служатъ лишь для измѣненія направленія силы. Посредствомъ же каждаго подвижного блока уменьшается потребная для уравновѣшиванія сила и притомъ въ различной степени въ зависимости отъ различныхъ способовъ размѣщенія этихъ блоковъ. Въ составномъ блокѣ, представленномъ на рис. 61, каждый отдѣльный конецъ веревки a b c d e f g h испытываетъ только дѣйствіе, оказываемое только вѣсомъ $^1/_8$ всего груза Q; это относится равнымъ образомъ какъ къ прочимъ отрѣзкамъ веревки, такъ и концу i, который слѣдовательно испытываетъ натяженіе $= {}^1/_8\ Q$. Такимъ образомъ для достиженія равновѣсія потребна сила P, которая въ 8 разъ меньше, чѣмъ вѣсъ, представляемый грузомъ Q. Послѣдній неподвижный блокъ не оказываетъ вліянія: тотъ же результатъ будетъ, если непосредственно приложимъ силу въ точкѣ h, дѣйствующую по направленію вверхъ. Чтобы поднять грузъ на опредѣленную высоту, нужно каждый отрѣзокъ веревки укоротить какъ разъ на ту же длину, т.-е. конецъ h и i нужно подвинуть на разстояніе, въ 8 разъ больше. Итакъ, мы постоянно приходимъ къ основному положенію, въ справедливости котораго будемъ удерживаться и дальше при описаніи новыхъ конструкцій: произведеніе силы на путь, проходимый точкой приложенія силы, = произведенію груза на путь, проходимый грузомъ.



62. Полиспастъ.

Полиспастъ. Весьма практичнымъ средствомъ для поднятія тяжести является полиспасть, представляющій особое соединеніе блоковъ, состоящее изъ двухъ частей, такъ что въ каждой изъ нихъ блоки располагаются по нѣсколько штукъ въ общей обоймицѣ, одинъ подъ другимъ, причемъ каждый можетъ свободно вращаться на своей оси. Одна изъ этихъ частей подвѣшена неподвижно, другая же часть подвижная; къ ней-то и прикрѣпляется грузъ (рис. 62 и 63); на рисункахъ представлена система, состоящая изъ трехъ неподвижныхъ и трехъ подвижныхъ блоковъ. Какъ не трудно убѣдиться, въ

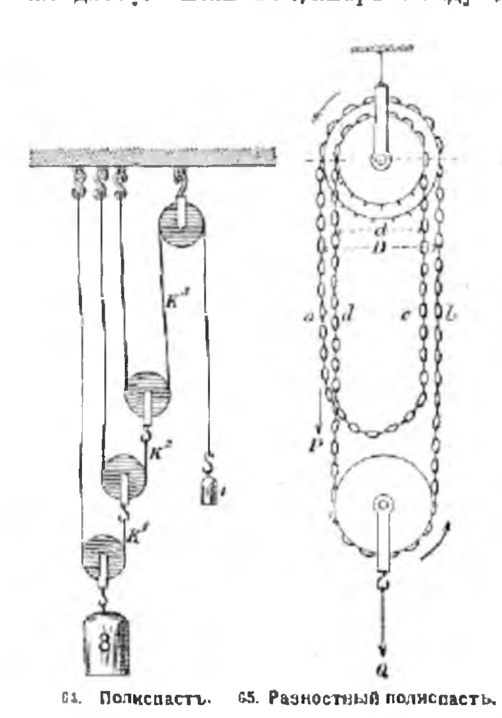
представленныхъ случаяхъ тотъ конецъ веревки, къ которому приложена сила, для поднятія груза слѣдуетъ вытянуть на разстояніе въ 6 разъ больше, нежели высота, до которой грузъ долженъ быть поднятъ, такъ какъ всѣ шесть отрѣзковъ веревки между подвижными и неподвижными блоками укоротятся на столько же; съ другой стороны величина силы равна $^1/_6$ вѣса подымаемаго груза, такъ какъ на каждый отрѣзокъ приходится только $^1/_6$ давленія, оказываемаго грузомъ. Можно высказать общее замѣчаніе, относящееся къ случаю подобнаго расположенія блоковъ. Сила равна вѣсу груза, дѣленному на удвоенное число подвижныхъ блоковъ (при этомъ всѣ блоки подвижной части должны считаться подвижными). Другимъ расположеніемъ блоковъ можно достигнуть еще большаго эффекта. Такое расположеніе представлено на рис. 64. На конецъ веревки, охватывающей нижній блокъ, дѣйствуетъ сила натяженія $K_1 = {}^1/_2\ Q$, на слѣдующій $K_2 = {}^1/_2\ K_1 = {}^1/_4\ Q$; на верхній, а значитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и на тотъ конецъ, къ которому прилагается сила, дѣйствуетъ сила напряженія $K_3 = {}^1/_2\ K_2 = {}^1/_8\ Q$; вообще сила равна вѣсу груза, раздѣленному на такую степень двухъ, сколько взято подвижныхъ блоковъ. При такомъ расположеніи, верхній блокъ долженъ быть повѣшенъ гораздо выше того уровня, до котораго слѣдуетъ поднять грузъ, такъ какъ, если верхній блокъ будетъ поднятъ какъ можно выше, т.-е. до уровня неподвижнаго блока, слѣдующіи за нимъ достигнетъ лишь половины этой высоты, а третій только четверти ея. Это конечно составляетъ недостатокъ, вслѣдствіе чего подобнымъ приспособленіемъ напримѣръ не пользуются для поднятія матеріала на верхъ лѣсовъ, окружающихъ строящееся зданіе. Большое распространеніе получилъ за послѣднее время **дифференціальный полиспастъ**, принципъ устройства котораго схематически представленъ на рис. 65. Онъ состоитъ изъ двухъ неподвижныхъ блоковъ, отлитыхъ чаще всего изъ желѣза въ формѣ одной части, такъ что оба имѣютъ общую ось, но различные діаметры, и одного подвижного, къ которому привѣшиваютъ грузъ. Неподвижные блоки устраиваются въ формѣ зубчатыхъ колесъ, т.-е. на ободѣ ихъ имѣются зубцы, входящіе въ звенья устроенной соотвѣтственнымъ образомъ цѣпи, чѣмъ устраняется скольженіе ея (веревки здѣсь не употребляются). Цѣпь берется въ этомъ случаѣ безконечная, причемъ, какъ можно видѣть изъ рисунка, она особеннымъ манеромъ продѣвается черезъ всѣ три блока.



63. Полиспастъ.

Сила P дѣйствуетъ, какъ показано, на ту часть цѣпи, которая свѣшивается свободно въ видѣ петли; проходя черезъ большой неподвижный блокъ, цѣпь приводитъ его во вращеніе, которое вмѣстѣ съ тѣмъ сообщается и маленькому блоку, такъ что съ послѣдняго она будетъ сматы-

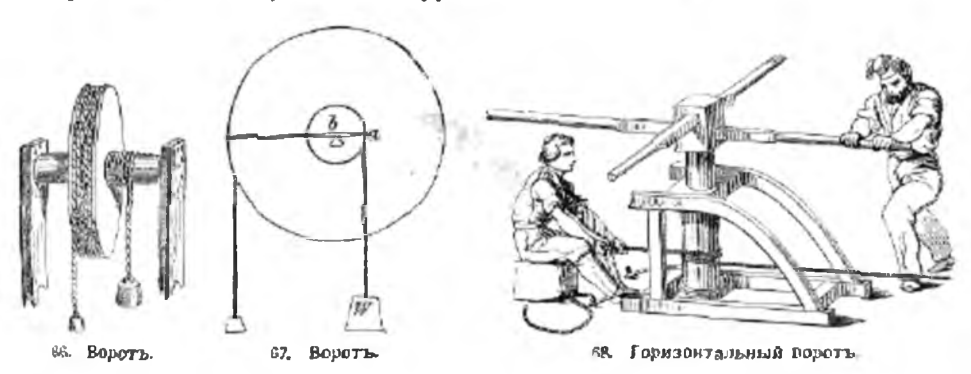
ваться и спускаться внизъ. Принимая во вниманіе разность между діаметрами D и d, мы должны заключить, что наматываться будетъ больше, чѣмъ сматываться, такъ что блокъ, къ которому привѣшенъ грузъ, будетъ подыматься, а размѣръ свѣшивающейся петли будетъ увеличиваться на ту же длину. Если напримѣръ между діаметрами будетъ отношеніе 6 : 4, то въ то время, какъ отрѣзокъ цѣпи ab увеличится на 1 метръ, звено d опустится на $^2/_3$ метра, а стало быть отрѣзокъ cd укоротится на $^1/_3$, и блокъ съ грузомъ подниметея на $^1/_6$ метра. Общее условіе равновѣсія въ этомъ случаѣ выражается не такъ просто, и яснѣе всего оно можетъ быть представлено формулой $P = \frac{Q}{2}(1 - \frac{d}{D})$.
Изображеніе дифференціальнаго полиспаста находится также дальше, на рис. 86, представляющемъ такъ называемую подвижную лебедку.



64. Полиспастъ. 65. Разностный полиспастъ.

Чѣмъ меньше разность діаметровъ обоихъ неподвижныхъ блоковъ, тѣмъ большій получается выигрышъ въ силѣ. При томъ отношеніи между діаметрами, какое обыкновенно употребляется, по большей части оно приблизительно равно 11 : 12 — грузъ удерживается въ равновѣсіи даже безъ помощи посторонней силы P, однимъ лишь треніемъ.

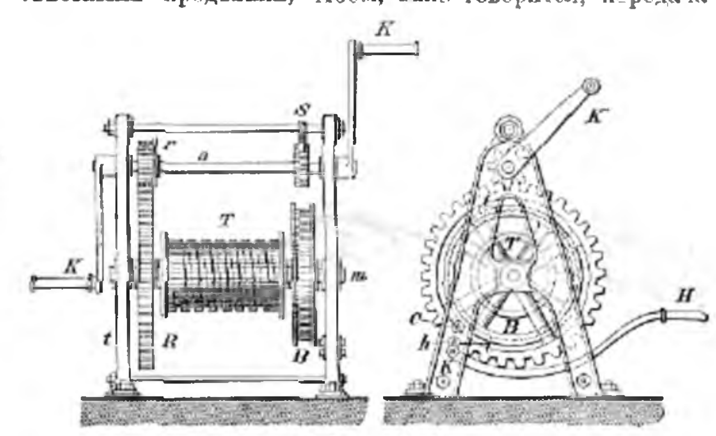
Воротъ. По идеѣ своего дѣйствія *воротъ* (*рис. 66 и 67*) (*или колесо, вращающее валъ*) представляетъ изъ себя подобіе полиспаста. Здѣсь также сила дѣйствуетъ на конецъ веревки (или цѣпи), намотанной на блокъ, который имѣетъ общую ось съ другимъ блокомъ или валомъ меньшаго діа-



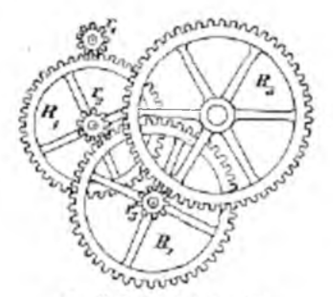
66. Воротъ. 67. Воротъ. 68. Горизонтальный воротъ.

метра; къ послѣднему прикрѣпляется грузъ; подвижного блока здѣсь вовсе не употребляется. Воротъ можно разсматривать просто какъ двуплечій рычагъ, точка опоры котораго лежитъ на срединѣ оси, плечо силы составляетъ радіусъ блока bc, а плечо груза радіусъ вала ba, потому что можно считать, что сила и грузъ приложены прямо къ внѣшнему ободу того и другого (блока и вала). Такъ что условіе равновѣсія таково: сила отно-

сится къ грузу, какъ радіусъ вала къ радіусу колеса. Часто на практикѣ колесо замѣняють другимъ болѣе удобнымъ приспособленіемъ. Такъ напримѣръ въ кабестанѣ (горизонтальномъ воротѣ) оно замѣняется нѣсколькими рычагами (рис. 68). Самымъ широкимъ распространеніемъ пользуются такъ называемыя лебедки, гдѣ колесо замѣняется одной или двумя ручками. Чтобы получить выигрышъ въ силѣ значительно больщій, чѣмъ отношеніе радіуса окружности, описываемой ручкой, къ радіусу вала, которое ограничено извѣстными предѣлами, чтобы, какъ говорится, передача была больше, не придѣлывають этихъ ручекъ какимъ-либо образомъ непосредственно къ валу, на который намотана веревка, а укрѣпляютъ ихъ на особой оси, связанной съ осью вала черезъ посредство зубчатыхъ колесъ. На рисункахъ 69 и 70 изображена такого рода лебедка. Двѣ ручки *KK* расположены діаметрально одна противъ другой, такъ что въ среднемъ дѣйствіе, производимое тѣмъ и другимъ рабочимъ, почти одно и то же; при этомъ одинъ толкаетъ ручку, а другой тянетъ за нее. *T* это валъ со спиральнымъ желобомъ, въ который вкладывается веревка или цѣпь. На ось рукоятки *a* и на ось вала *m* насажены зубчатыя колеса *r*, *R*, зацѣпляющіяся одно за другое; посредствомъ колеса *r* сообщается движеніе. Отношеніемъ радіусовъ того и другого колеса опредѣляется число, обозначающее передачу. Если *R* въ пять разъ больше *r*, то соотвѣтствующее ему колесо имѣетъ въ пять разъ больше зубцовъ, нежели другое, такъ какъ величина зубцовъ того и другого одинакова, отчего зубцы одного колеса аккуратно входятъ въ зубцы другого. Такимъ образомъ, чтобы заставить валъ сдѣлать одинъ оборотъ, придется ручку повернуть пять разъ около оси *a*. Если кромѣ того отношеніе радіуса вала къ радіусу вращенія ручки = 1 : 2, то окончательно передача выразится отношеніемъ 1 : 5×2=1 : 10, т.-е. сила составляетъ $^1/_{10}$ вѣса груза. Къ прибору присоединенъ особый нажимъ, при помощи котораго можно отодвигать колесико *r* немного вправо, когда нужно опустить грузъ, тогда это колесико уже не задѣваетъ за колесо *R*, и валъ будетъ вращаться безъ помощи ручекъ, и, пользуясь нажимомъ, можно регулировать скорость вращенія. На шайбу *B* нажима навернута стальная лента *i*, на одномъ концѣ укрѣпленная въ точкѣ *C*, другой же конецъ ея насаженъ на шкворень *h* ломанаго рычага *H*, *k* обозначаетъ точку опоры. Если теперь потянуть ручку рычага *kH*, это натяженіе съ большей силой передается лентѣ, а та, оказывая давленіе на шайбу нажима, будетъ задерживать блокъ, такъ что скорость можно регулировать, надавливая на рычагъ съ различной силой. Передача будетъ больше, если взять не одну пару



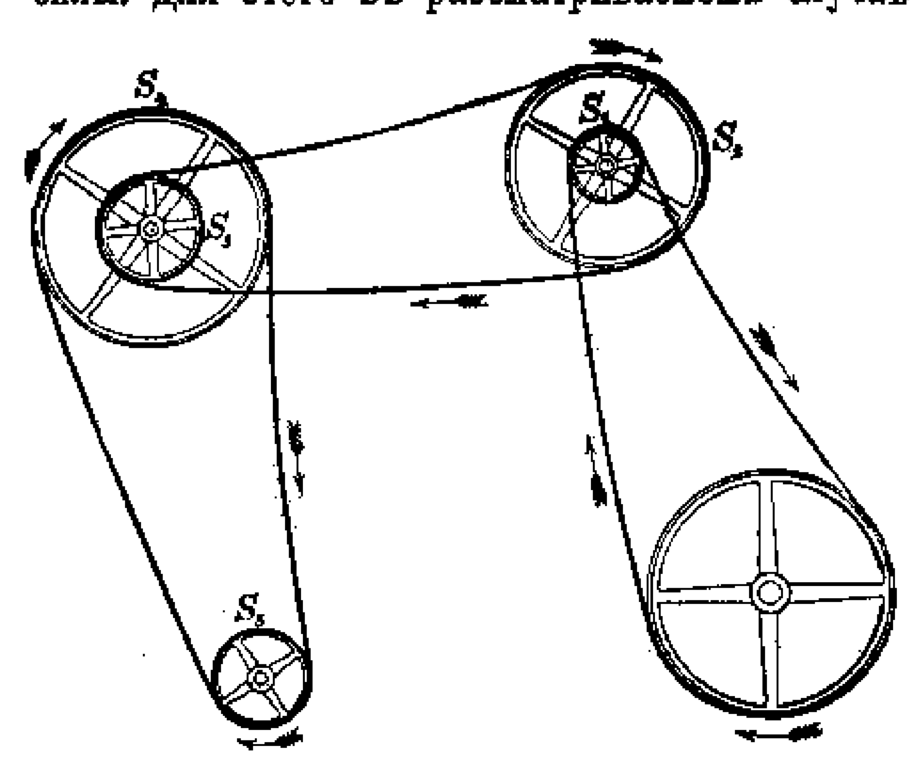
69—70. Лебедка.



71. Колесная передача.

колесъ, а нѣсколько, какъ показано на рис. 71. Сила приложена къ зубчатому колесу r; это колесо зацѣпляетъ за зубцы колеса R_1. Передача измѣряется отношеніемъ ~ 1:4. На ось колеса R_1 насажено колесико r_2, зацѣпляющее зубцы колеса R_2, которое въ пять разъ больше перваго (r_2) и наконецъ колесико r_3 зацѣпляетъ за колесико R_3, діаметръ котораго уже въ 6 разъ больше діаметра колеса r_3. Отношенія діаметровъ колесъ каждой пары, слѣдовательно и числа зубцовъ, расположенныхъ по ихъ ободу, будутъ соотвѣтственно равны: 1:4, 1:5, 1:6, такъ что отношеніе, характеризующее передачу, оказывается слѣдующее $1:4\times5\times6=1:120$.

Посредствомъ такого приспособленія съ зубчатыми колесами достигается увеличеніе силы, дѣйствующей на валъ перваго колеса въ 120 разъ; въ такой же мѣрѣ уменьшится скорость. Обратно для нѣкоторыхъ особыхъ цѣлей можно достигнуть увеличенія скорости, уменьшая соотвѣтственно напряженіе силы. Для этого въ разсматриваемомъ случаѣ нужно заставить силу дѣйствовать на валъ послѣдняго большого колеса R_3, чтобы тѣмъ сообщить валу колеса r_1 въ 120 разъ большую скорость вращенія. *Въ практикѣ встрѣчается* и такой случай пользованія зубчатыми колесами, но рѣже, чѣмъ первый. Для достиженія большей скорости вращенія, въ чемъ является необходимость, напримѣръ, когда приводятся въ дѣйствіе центробѣжные насосы, вентиляторы, центробѣжныя машины, динамомашины, буровые снаряды или токарные станки, примѣняется обыкновенно передача при помощи ремней и канатовъ, въ основѣ устройства которой положенъ тотъ же принципъ. Маховое колесо или шкивъ какого-нибудь двигателя (рис. 72) помощью ремня сообщаетъ движеніе другому шкиву S_1, вращающему передаточный валъ, на который насажена шайба S_2, передающая тѣмъ же путемъ сообщаемое ей движеніе вдвое меньшему шкиву S_3. Отъ этой шайбы передается уже движеніе валу токарнаго станка при помощи шайбъ S_4 и S_5; если отношеніе діаметровъ этихъ шайбъ равно, положимъ, 3:1, то въ одну минуту токарный станокъ будетъ дѣлать въ $3\times2\times3=18$ разъ больше оборотовъ, нежели паровая машина.



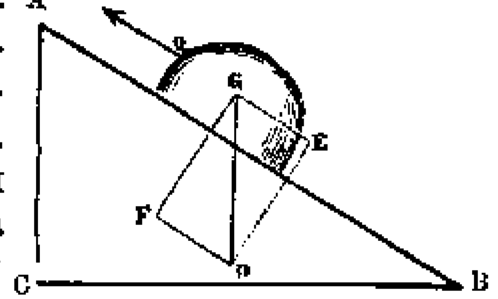
72. Ременная передача.

При употребленіи ручекъ къ дѣйствію, оказываемому мускульной силой рабочаго, присоединяется еще тяжесть его тѣла, такъ какъ для того, чтобы направить ручку внизъ, рабочій нѣсколько налегаетъ на нее. Было уже много попытокъ устроить такого рода приборы, гдѣ можно было бы пользоваться только силою ногъ, но по большей части онѣ не увѣнчались успѣхомъ. Только въ такихъ случаяхъ, гдѣ приходится работать сидя, причемъ руки оказываются заняты, такъ что нельзя привести въ дѣйствіе ручную машину, пользуются всегда ножными, если отъ машины не требуется большой мощности, какова прялка, швейная машина и точило; механизмъ вращенія состоитъ изъ одноплечаго рычага, толкаемаго ногой, и рукоятки; подобное же устройство имѣетъ гончарный станокъ, представляющій видоизмѣненіе вертикальнаго ворота.

Лучшимъ примѣненіемъ принципа ворота къ устройству приспособленій

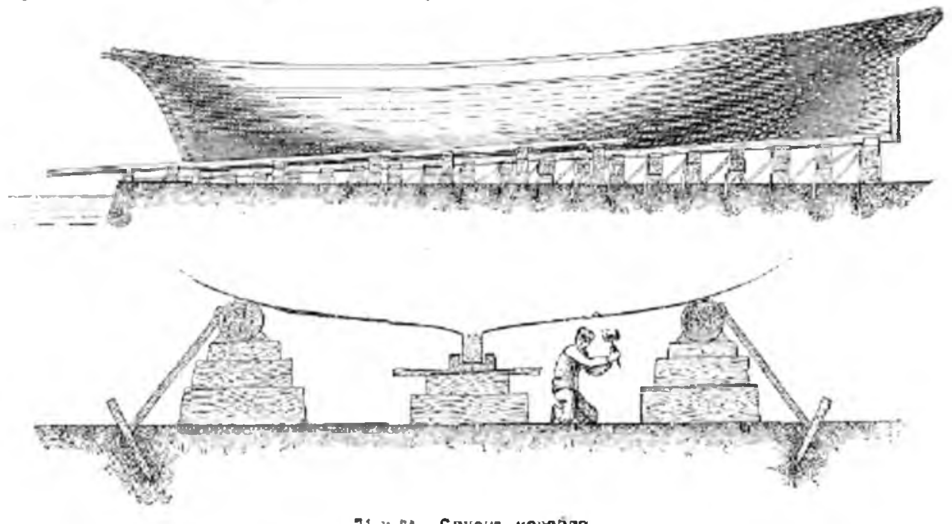
для пользованія мускульной силой являются ходовыя колеса, гдѣ вѣсъ человѣческаго тѣла также оказываетъ нѣкоторое полезное дѣйствіе; подобныя приспособленія употребляются уже съ давнихъ поръ, причемъ колеса изготовляются такихъ большихъ размѣровъ, что съ однимъ приборомъ могутъ работать до 20-и человѣкъ. Въ настоящее время не мало такихъ ходовыхъ колесъ установлено въ каменоломняхъ въ Монружѣ и Божирарѣ (нѣсколько южнѣе Парижа). По бокамъ колеса устроены выступы, число которыхъ достигаетъ напр. 96 при употребленіи колеса діаметромъ 9,8 метра. Какимъ образомъ дѣйствуетъ ходовое колесо, объяснить себѣ нетрудно. Рабочій поднимается вверхъ, по выступамъ или ступенькамъ колеса, вслѣдствіе чего послѣднее, испытывая давленіе постоянно въ одномъ направленіи, придетъ во вращеніе; чѣмъ скорѣе рабочій будетъ взбираться наверхъ, тѣмъ быстрѣе колесо будетъ вращаться. Наибольшее дѣйствіе достигается тогда, если рабочій помѣщается какъ разъ противъ оси (по горизонтальному направленію). Устрояваютъ также ходовыя колеса, приводимыя въ дѣйствіе животными. На низовьяхъ Рейна у сельскихъ хозяевъ можно встрѣтить приспособленія подобнаго рода, приводимыя въ дѣйстніе собаками или ослами.

Наклонная плоскость. Повозка на спускѣ сама собой катится внизъ; кегельный шаръ также движется впередъ по покатому желобу. Во всемъ этомъ сказывается дѣйствіе наклонной плоскости. До начала движенія тѣло обладало уже потенціальной энергіей, которая переходитъ въ кинетическую, или иначе проявляется въ видѣ живой силы. Передъ тѣмъ шаръ былъ поднятъ служителемъ при кегельбанѣ до верхняго края желоба, причемъ была затрачена механическая работа, сообщавшая ему запасъ энергіи, что обнаружилось явно при движеніи шара внизъ. Преодолѣвая въ своемъ движеніи сопротивленіе воздуха, треніе въ желобѣ и, наконецъ, ударяясь о стѣнку въ концѣ пути, шаръ возвратитъ всю работу, затраченную на его поднятіе, иначе говоря, совершитъ ту же работу, какая была бы имъ произведена въ свободномъ паденіи съ той же высоты. Законы движенія тѣла по наклонной плоскости основаны на простомъ разложеніи силъ по правилу параллелограмма. Пояснимъ это чертежомъ (рис. 73). Прямая AB называется длиною наклонной плоскости, BC основаніемъ или базисомъ, AC — высотой и отношеніе $AC:AB$ — уклономъ. Дѣйствующая вертикально внизъ сила тяжести тѣла, представленная на рисункѣ прямой GD, разлагается на двѣ составляющія GF и GE; первая оказываетъ давленіе на плоскость, уничтожаемое реакціей, вторая же стремится двигать тѣло внизъ по наклонной плоскости. Чтобы тѣло оставалось въ начальномъ положеніи или даже подымалось вверхъ, нужно соотвѣтственно такую же силу Q или большую приложить съ противной стороны. Нетрудно убѣдиться на основаніи теоремъ геометріи, что отношеніе $GF:GD$ можно замѣнить отношеніемъ $AC:AB$, стало-быть сила Q зависитъ отъ уклона плоскости и именно равна вѣсу груза, умноженному на отношеніе, отвѣчающее уклону. Слѣдовательно по наклонной плоскости можно поднять грузъ на опредѣленную высоту, употребивъ меньшее усиліе, чѣмъ при непосредственномъ поднятіи его вверхъ по вертикальному направленію, но за то путь, проходимый тѣломъ, будетъ во столько же разъ больше. Такъ что высказанное ранѣе положеніе остается въ силѣ. Величина силы $\times$ путь, проходимый точкой приложенія силы, = вѣсу груза $\times$ путь, проходимый грузомъ, т.-е. $GE \times AB = GD \times AC$. Есть основанія предполагать, что египтяне для подъема значительной массы камня при сооруженіи пирамидъ (напр. для постройки пирамиды фараона Хуфу требовалось количество матеріала, равное по размѣрамъ 1200 милліо-



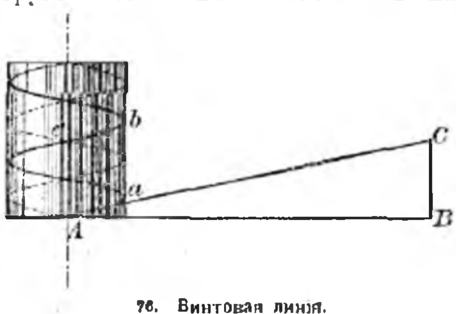
73. Наклонная плоскость.

вамъ кирпичей такого формата, какіе теперь вездѣ употребляются) пользовались наклонной плоскостью. Для подвоза камней при сооруженіи пирамиды Гизеха была возведена плоскопокатая насыпь (остатки ея сохранились до настоящаго времени); насыпь эта поднималась въ вышину до 40 метровъ и оканчивалась широкой площадкой, служившей основаніемъ для возведенія пирамиды. Такъ точно и теперь, если требуется втащить на телѣгу тяжелый предметъ, какъ-то: каменную плиту или какую-нибудь часть машины, если



74 и 75. Спускъ корабля.

онѣ слишкомъ тяжелы для того, чтобъ ихъ поднять непосредственно, употребляютъ обыкновенно наклонную плоскость, воздвигая ее на сваяхъ или на особыхъ, спеціально для того приспособленныхъ спускахъ, и затѣмъ уже грузъ ввозятъ или втаскиваютъ наверхъ по этой плоскости. Наклонной плоскостью пользуются еще на желѣзныхъ дорогахъ и большихъ заводахъ, а именно: втаскиваютъ нагруженные уже вагоны на извѣстную высоту при помощи гидравлическихъ подъемныхъ машинъ, откуда они катятся по наклонному рельсовому пути, останавливаясь въ пунктахъ, гдѣ производится разгрузка.

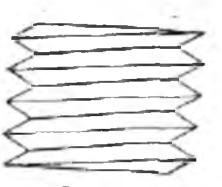


76. Винтовая линія.

Для спуска кораблей также устраиваютъ наклонную плоскость. Рис. 74 представляетъ корпусъ деревяннаго парусннаго судна на наклонной плоскости передъ спускомъ его въ море. Киль его скользитъ въ особомъ, намыленномъ изнутри желобѣ (так. наз. смазочная доска), спускающемся къ морю подъ извѣстнымъ наклономъ, который уже предварительно разсчитанъ (рис. 75). Справа и слѣва находятся гладкія подпорки, назначеніе которыхъ поддерживать корпусъ корабля въ равновѣсіи. Посредствомъ клиньевъ, положенныхъ на тумбы, желобъ вплотную подгоняется подъ киль корабля. Для спуска особенно большихъ кораблей устраиваютъ вмѣсто одного срединнаго желоба, два по бокамъ.

Одинъ изъ видовъ наклонной плоскости представляетъ изъ себя клинъ, которымъ въ общежитіи часто пользуются; чѣмъ онъ острѣе, тѣмъ больше производимое имъ дѣйствіе.

Винтъ. Отъ наклонной плоскости мы переходимъ къ послѣдней изъ такъ называемыхъ простыхъ машинъ, устройство которой намъ осталось еще описать, къ винту. Если станемъ навертывать наклонную плоскость (рис. 76) на прямой цилиндръ съ круговымъ основаніемъ такимъ образомъ, чтобы прямая AB не выходила изъ плоскости основанія и оставалась бы перпендикулярной къ оси, то тогда прямая AC расположится на цилиндрѣ по винтовой линіи. Эта линія вездѣ одинаково наклонена къ горизонту подъ угломъ BAC. Разстояніе одного витка отъ другого, считая по вертикали, т.-е. отрѣзокъ Ac' и ab называется шириною витка или высотою винтового хода. Длина полнаго витка, т.-е. отрѣзокъ винтовой линіи отъ точки A до c', огибающій цилиндръ во всю его ширину, называется ходомъ винта. На практикѣ нарѣзка винтовъ бываетъ различна; у острыхъ винтовъ она въ сѣченіи дастъ равнобедренный треугольникъ (наиболѣе употребительная форма), у тупыхъ же сѣченіе ея обыкновенно представляется квадратнымъ. Обѣ эти нарѣзки изображены на рисункѣ 77 и 78. Винтъ можетъ также имѣть или одну или нѣсколько нарѣзокъ; въ послѣднемъ случаѣ высота винтового хода каждой отдѣльной нарѣзки соотвѣтствуетъ разстоянію между ближайшими, идущими параллельно другъ другу, одинаково, стало-быть, наклоненными къ горизонту витками. На рис. 76 вторая нарѣзка представлена пунктиромъ. Нѣсколько нарѣзокъ дѣлается на тѣхъ винтахъ, гдѣ винтовая линія идетъ очень круто, такъ что высота хода при одной нарѣзкѣ оказалась бы слишкомъ большой по сравненію съ діаметромъ цилиндра. Наконецъ различаютъ еще правый винтъ и лѣвый винтъ. Правый винтъ это такой, въ которомъ движеніе по нарѣзкѣ винта совершается въ направленіи по часовой стрѣлкѣ, если смотрѣть сверху. Каждому винту соотвѣтствуетъ своя гайка, которая представляетъ изъ себя, такъ сказать, обратный винтъ; внутри ея дѣлается совершенно такая же нарѣзка такъ, чтобы она аккуратно подходила къ винту.


77. Острая винтовая скважина.


78. Плоскій винтовой ходъ.

Винты съ острой нарѣзкой употребляются спеціально для прикрѣпленія какого-либо предмета, тогда какъ тупые винты преимущественно служатъ для превращенія получаемаго дѣйствіемъ извѣстной силы вращательнаго *движенія въ прямолинейное поступательное.* *Если винтъ дѣйствіемъ внѣшней* силы, направленной по касательной къ винтовой нарѣзкѣ (подобно этому направлена сила, вращающая воротъ), будетъ приведенъ во вращеніе, то онъ будетъ давить на гайку, если только та сама не участвуетъ въ движеніи, и это давленіе распространяется на всю поверхность скольженія винта. Съ каждымъ оборотомъ винтъ будетъ выступать изъ гайки на высоту винтового хода. *Если гайка укрѣплена такимъ образомъ, что она не можетъ ни вращаться*, ни двигаться поступательно, то винтъ будетъ подвигаться впередъ. Если же наоборотъ винтъ поступательнаго (по оси) движенія не имѣетъ, то гайка, вращаясь въ ту или другую сторону, будетъ сама теперь перемѣщаться съ каждымъ оборотомъ на ширину витка. Можно еще винтъ закрѣпить, а силу, производящую вращеніе, приложить къ гайкѣ; въ результатѣ *будетъ получаться такое же поступательное движеніе.* Выигрышъ въ силѣ, или отношеніе величины прилагаемой силы къ той силѣ, которой мы пользуемся, будетъ въ томъ и другомъ случаѣ одинъ и тотъ же. Общее правило здѣсь таково: отношеніе силы къ вѣсу груза, который она можетъ уравновѣсить, таково же, какъ отношеніе высоты винтового хода (все равно, будетъ ли винтъ имѣть одну нарѣзку или нѣсколько) къ средней длинѣ *окружности винта (въ этомъ случаѣ* сила приложена непосредственно, безъ

помощи рычаговъ). Такое соотношеніе слѣдуетъ прямо изъ закона наклонной плоскости. За время одного оборота грузъ перемѣстится на разстояніе, равное высотѣ наклонной плоскости BC (см. рис. 76); путь, проходимый за то же время точкой приложенія силы, равенъ длинѣ окружности винта или, что то же, основанію наклонной плоскости AB. Значитъ дѣйствіе силы таково же, какъ и при подпятіи груза по наклонной плоскости. На самомъ дѣлѣ силу никогда не прилагаютъ непосредственно къ нарѣзкѣ винта, а пользуются обыкновенно при этомъ рычагомъ, вслѣдствіе чего высказанному правилу можно дать такую формулировку: произведеніе силы на плечо рычага (считая отъ оси винта до точки приложенія силы) равно произведенію вѣса груза на радіусъ винта, да на отношеніе, измѣряющее наклонъ плоскости; подъ послѣднимъ нужно понимать отношеніе высоты хода винта къ его окружности $\frac{Ac^1}{AB}$ на рис. 76) или сила — грузъ $\times \frac{\text{радіусъ винта} \times \text{высота хода}}{\text{плечо рычага} \times \text{окр. винта}}$.

Винтомъ такого устройства можно пользоваться или для производства давленія или для подпятія тяжестей. Примѣненіе винта для производства давленія находимъ мы въ устройствѣ копировальнаго пресса. Гайка здѣсь укрѣплена въ особой оправѣ, такъ что ни двигаться вверхъ или внизъ, ни вращаться въ ту или другую сторону не можетъ; иногда же гаечная нарѣзка дѣлается въ самой оправѣ. Винтъ можетъ вращаться и двигаться поступательно. Въ верхней части къ нему прилагается сила, сообщаемая ему посредствомъ двуплечаго рычага или колеса, вращаемаго рукой. Подобное же устройство имѣютъ прессы для чеканки монетъ и медалей, прессы для выжиманія виноградного сока и прессы переплетчиковъ. Винтъ можетъ также служить для того, чтобы получить плавное и весьма равномѣрное поступательное движеніе въ извѣстномъ направленіи. Такъ напримѣръ въ самодвижущемся токарномъ станкѣ подставка съ рѣзцомъ соединяется съ гайкой плоскаго винта. Когда станокъ находится въ дѣйствіи, то винтъ приводится во вращеніе помощью зубчатыхъ колесъ, причемъ соотвѣтственнымъ подборомъ колесъ достигается произвольная скорость вращенія. Винтъ поступательнаго движенія не имѣетъ, гайка же укрѣпляется такъ, что не можетъ совершать вращательнаго движенія, а потому, въ зависимости отъ той или иной скорости вращенія, подставка съ рѣзцомъ будетъ вполнѣ равномѣрно передвигаться, и такимъ образомъ послѣдній можетъ быть подведенъ подъ предметъ, который хотятъ обточить.



79. Безконечный винтъ.

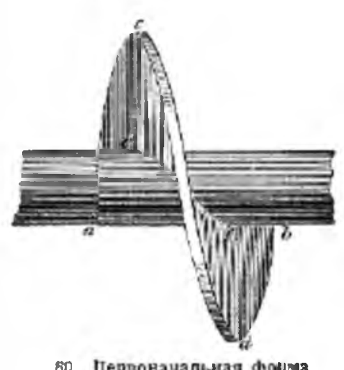
Рис. 79 представляетъ такъ называемый безконечный винтъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ часто употребляется въ механизмахъ машинъ. Нарѣзка сдѣлана такимъ образомъ, чтобы лопасти винта приходились какъ разъ надъ зубцами соотвѣтственнымъ образомъ устроеннаго зубчатаго колеса. При вращеніи винта нарѣзка, входящая подъ угломъ въ лопасти колеса, заставитъ послѣднее двигаться, и съ каждымъ оборотомъ край нарѣзки будетъ входить въ слѣдующую лопасть.

Микрометренные винты. Это тонкіе винты съ небольшимъ подъемомъ винтовой линіи, т.-е. съ мелкой нарѣзкой. Они служатъ для точнаго откладыванія мелкихъ дѣленій или для полученія весьма малыхъ передвиженій, контролируемыхъ соотвѣтственнымъ отчетомъ, такъ что главнымъ образомъ ими пользуются для устройства точныхъ физическихъ и астрономическихъ приборовъ: дѣлительныхъ машинъ, нивеллировочныхъ инстументовъ и т. п. Съ помощью микрометреннаго винта можно весьма легко откладывать сотыя доли миллиметра, что конечно никакъ не можетъ быть достигнуто передвиженіемъ и установкой прибора прямо отъ руки.

Пароходный винтъ представляетъ совершенно особый видъ обыкновеннаго винта. Когда винтъ предназначенъ производить давленіе, то, какъ мы видѣли, давленіе это прежде всего передается гайкѣ, и такъ какъ гайка укрѣпляется неподвижно, то винтъ самъ начинаетъ двигаться поступательно. Здѣсь роль гайки играетъ вода. Вращаясь въ водѣ, винтъ встрѣчаетъ съ ея стороны сопротивленіе, отчего онъ самъ стремится двигаться впередъ и влечетъ за собой корабль, къ которому онъ прикрѣпленъ. Если бы мы представили себѣ воду совершенно неудобоподвижной, то, съ каждымъ оборотомъ винта, корабль долженъ бы былъ подвигаться впередъ на разстояніе, равное высотѣ хода винта. На самомъ же дѣлѣ онъ настолько не подвинется, такъ какъ вода уступаетъ все же давленію. Происходящая отсюда разность въ пути называется отдачей винта; она достигаетъ 10—15%. На малую поверхность вода, вслѣдствіе удобоподвижности, можетъ оказать лишь очень небольшое давленіе, а потому размѣры поверхности винта должны быть значительны, вмѣстѣ съ тѣмъ и скорость вращенія должна быть велика; тогда только явится сопротивленіе, достаточное для производства надлежащаго дѣйствія. Потому-то пароходнымъ винтамъ, иначе пропеллерамъ, и придаютъ такую своеобразную форму, дѣлающую ихъ непохожими на другіе винты, такъ что съ перваго взгляда не узнаешь, что это винтъ.

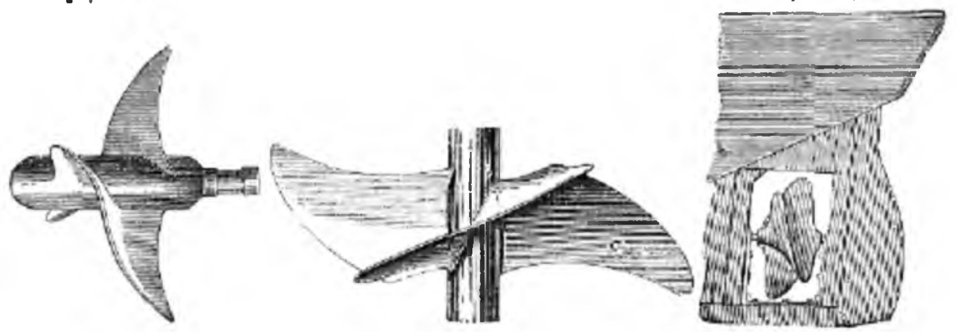
Первыя попытки приспособить къ кораблю винтовой двигатель относятся къ очень давнему времени. Первымъ изобрѣтателемъ въ этой области былъ Даніилъ Бернулли (1700—1782), одинъ изъ выдающихся физиковъ и математиковъ. Онъ руководился правильной идеей, когда хотѣлъ при помощи механизма, заключеннаго на кораблѣ, сообщать вращеніе винту, находящемуся подъ водою, и такимъ образомъ достигнуть того, что корабль можетъ идти по произволу по теченію или противъ теченія, въ желаемомъ направленіи. Мемуаръ своего изобрѣтенія, относящійся къ 1752 году, онъ адресовалъ во Французскую академію, которая удостоила его трудъ награды; но въ другихъ сферахъ этотъ мемуаръ, да и самое изобрѣтеніе Бернулли не было вовсе извѣстно и дальнѣйшихъ послѣдствій не имѣло. Несмотря на то, что изъ его изобрѣтенія нельзя было извлечь практической пользы, такъ какъ тогда потребовалось бы устроить винтъ большихъ размѣровъ, а для приведенія его во вращеніе въ то время можно было пользоваться только мускульной силой людей или животныхъ, все же нужно за Бернулли признать славу пріоритета. Послѣ того какъ изобрѣтенная Джемсомъ Ваттомъ — въ семидесятыхъ годахъ восьмнадцатаго столѣтія — паровая машина была настолько усовершенствована, что въ томъ или другомъ видѣ получила повсемѣстное распространеніе не только въ Англіи, но и на континентѣ, прошла еще половина столѣтія, когда наконецъ, примѣняя силу пара, пришли къ практическому осуществленію идеи пользованія уже давно изобрѣтеннымъ винтовымъ двигателемъ, какъ средствомъ, дающимъ возможность сообщить движеніе кораблю. Большинство обыкновенно приписываетъ устройство перваго парового судна Фультону, который въ Нью-Іоркѣ въ 1807 году построилъ первый колесный пароходъ „Клермонтъ", но это несправедливо, такъ какъ еще за нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ американецъ Стивенсъ устроилъ первую паровую корабельную машину, и она вполнѣ удачно давала ходъ 15-метровому боту „Фениксъ". Такъ что въ дѣйствительности прежде былъ построенъ не колесный пароходъ, а пароходъ съ паровымъ винтовымъ двигателемъ, и первымъ, кто построилъ пароходную машину, оказавшуюся вполнѣ пригодной, нужно признать Стивенса, такъ какъ онъ воскресилъ и осуществилъ на практикѣ уже забытую идею винтового двигателя. Но изобрѣтеніе Стивенсомъ перваго винтового парохода въ теченіе слѣдующихъ затѣмъ нѣсколькихъ десятилѣтій не вызвало однако распространенія подобнаго рода судовъ въ мореплаваніи. Въ 20-ыхъ годахъ стала ощущаться по-

требность въ улучшенiи системы пароходовъ, такъ какъ колесные пароходы во время плаванiя получали сильныя поврежденiя. Кораблестроенiе и постройка паровыхъ машинъ между тѣмъ сопровождались новыми усовершенствованiями, такъ что люди, работавшiе надъ этимъ вопросомъ, впослѣдствiи могли въ своихъ трудахъ опираться совсѣмъ на другiя основы, нежели ихъ предшественники. Изъ числа лицъ, благодаря старанiю которыхъ винтовой двигатель получилъ такое широкое распространенiе и практическiя усовершенствованiя, мы должны впереди всѣхъ назвать Ресселя (австрiецъ), Соважа (французъ) и Смита (англичанинъ). Рессель получилъ патентъ на изобрѣтенiе винтового двигателя въ 1827 г., Соважъ въ 1832 г. и Смитъ въ 1835 г., на 8 лѣтъ позднѣе Ресселя, но тѣмъ не менѣе ему лишь удалось воспользоваться плодомъ своего изобрѣтенiя, и его родина, Англiя, была первой страной, примѣнившей на практикѣ этотъ двигатель и давшей ему дальнѣйшее распространенiе. Но намъ придется еще въ одной изъ слѣдующихъ частей курса поговорить объ этомъ подробнѣе, въ статьѣ о кораблестроенiи; тамъ же будетъ указано, какую огромную роль играетъ винтъ при постройкѣ морского судна.



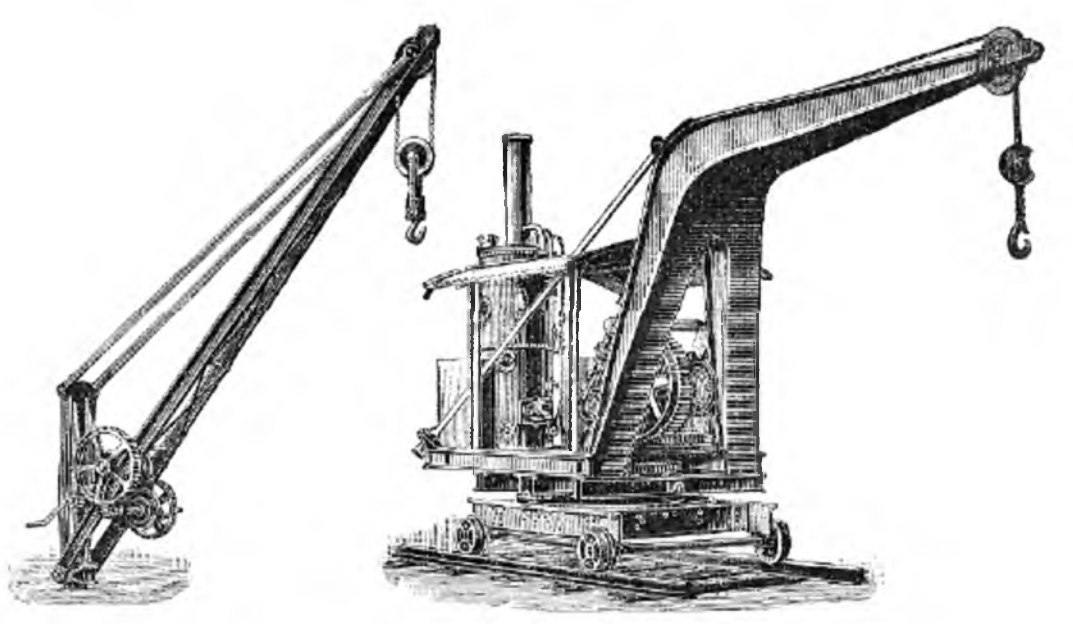
80. Первоначальная форма корабельнаго винта.

Первоначально корабельному винту сообщалась форма, имѣющая полный винтовой ходъ и очень большую поверхность; рис. 80 представляетъ винтъ Архимеда, высота винтового хода (ab) достигаетъ $2^1/_2$ метровъ, а дiаметръ (cd) 2,15 метра. Вслѣдствiе несчастья во время плаванiя винтъ этотъ обломился, приблизительно до мѣстъ, обозначенныхъ на рис. пунктиромъ (fd), такъ что уцѣлѣла только часть винта. Что же оказалось? Скорость, послѣ


81. Двойной корабельный винтъ. 82. Четверной винтъ. 83. Расположенiе корабельнаго винта.

этого поврежденiя не только что не уменьшилась, но даже, наоборотъ, увеличилась. Это послужило драгоцѣннымъ указанiемъ къ тому, какъ слѣдуетъ измѣнить конструкцiю винта. Теперь довольствовались уже только частью витка, но зато винтовой линiи давали больпiй подъемъ и дѣлали нѣсколько нарѣзокъ; сначала устроивали двѣ нарѣзки и оставляли только половину витка (рис. 81), затѣмъ пошли дальше: винтовой линiи придали еще болѣе крутой подъемъ и стали употреблять четыре нарѣзки по $^1/_4$ витка рис. 82). Въ такомъ видѣ трудно повѣрить, что поверхность крыльевъ винта представляетъ части одной и той же винтовой поверхности. Дѣйствiе винтового двигателя всего совершеннѣе, если взять винтъ съ двумя крылами, но только въ томъ случаѣ, когда море совершенно спокойно. Во время волненiя, въ моментъ, когда корма корабля будетъ находиться какъ разъ на спускѣ

волны, такъ что винтъ будетъ частью вращаться въ воздухѣ, ходъ станетъ неравномѣрнымъ, если взять винтъ двукрылый; такъ что въ этомъ случаѣ дѣйствіе его не удовлетворительно. Обыкновенно морскіе пароходы снабжаются винтами съ тремя крылами. Донынѣ еще предлагаются различныя формы поверхности корабельнаго винта, отличающіяся или подъемомъ винтовой линіи, или формой крыльевъ, или же величиной діаметра и т. п., лучше всего удовлетворяющія своему назначенію. Тутъ нельзя многаго достигнуть, смотря на этотъ вопросъ чисто съ теоретической точки зрѣнія, потому что закономѣрность движенія жидкости, вслѣдствіе вращенія винта, особенно если на морѣ буря, остается для насъ весьма мало извѣстной, такъ какъ это явленіе не поддается непосредственному наблюденію, аналитическое же изслѣдованіе вопроса связано съ такими трудностями, что становится почти



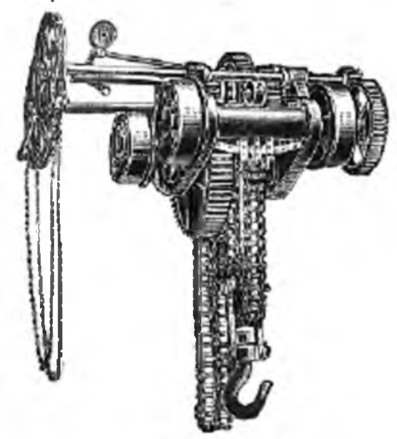
84. Вращательный кранъ. 85. Передвижной паровой кранъ.

невыполнимымъ. Итакъ возможно только опытное, экспериментальное рѣшеніе вопроса, что и составляетъ теперь постоянный предметъ занятія первоклассныхъ инженеровъ и техниковъ кораблестроительныхъ учрежденій.

Весьма важно, чтобы поверхность винта была насколько возможно глаже; болѣе или менѣе значительное треніе воды о винтъ сильно вліяетъ на скорость движенія. Такъ напримѣръ, было замѣчено, что у большого парохода, у котораго винтъ былъ бронзовый, она превосходила на одну морскую милю въ часъ скорость другого парохода такихъ же размѣровъ, и съ такимъ же винтомъ, только желѣзнымъ; всѣ прочія условія были одинаковы, но поверхность желѣзнаго винта отъ соприкосновенія съ водой скоро становилась шероховатой. Тамъ, гдѣ особенно важно развить большую скорость, какъ-то у скорыхъ трансатлантическихъ пароходовъ и военныхъ судовъ, по большей части употребляются бронзовые винты, несмотря на то, что они стоятъ огромныхъ денегъ.

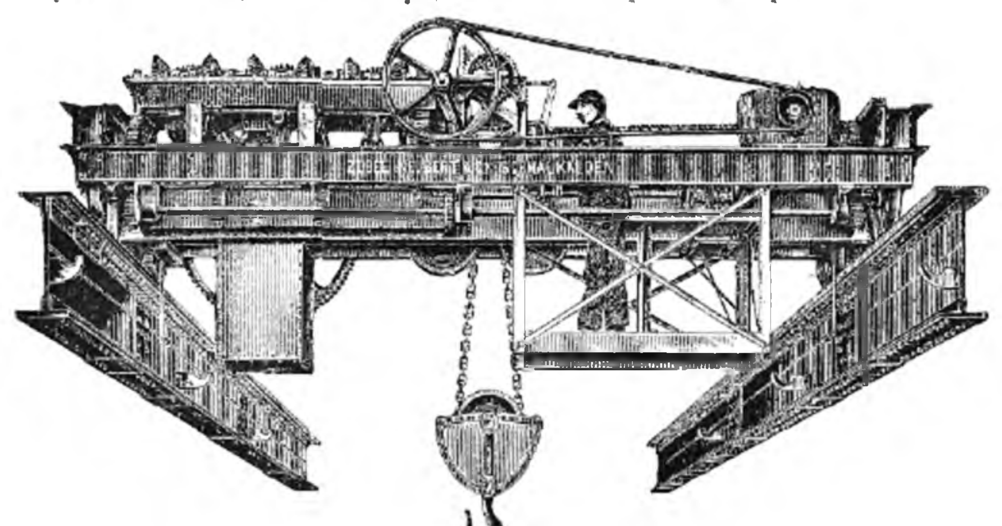
Почти до настоящаго времени даже большіе пароходы приводились въ движеніе помощью одного винта, который помѣщался въ выступѣ кормовой части посрединѣ ватерлиніи (рис. 83). Въ послѣднее время, вслѣдствіе необходимости увеличить скорость движенія, стали употреблять два винта, по-

мѣщая ихъ симметрично, одинъ справа, другой слѣва, въ средней части судна; каждый изъ нихъ приводится въ дѣйствіе особымъ механизмомъ. Быстро движущіеся океанскіе пароходы и морскія суда въ настоящее время устраиваются съ двумя винтами. Это влечетъ за собой еще ту выгоду, что при порчѣ одной изъ винтовыхъ осей или самого винта корабль можетъ продолжать движеніе съ помощью другого цѣльнаго винта, хотя, конечно, съ меньшею скоростью. На столько же старой, какъ идея пользованія винтомъ для движенія по водѣ, является идея примѣненія того же винта для воздухоплаванія, такъ чтобы съ его помощью можно было сообщать воздушному шару любое направленіе движенія или приспособить его къ летательному снаряду; но, какъ мы увидимъ далѣе, о чемъ будетъ сообщено въ очеркѣ воздухоплаванія, эти попытки остались совершенно безуспѣшными.



86. Подвижная лебедка.

Подъемныя машины. Для того, чтобы соединеніемъ нѣсколько простыхъ подъемныхъ сооруженій: блока, полиспаста, ворота, ручекъ, лебедки и т. д. достигнуть значительнаго выигрыша въ силѣ, устраиваютъ подъемныя машины, которыя съ давнихъ поръ составляютъ неотъемлемую принадлежность какъ ручного промысла, такъ и различныхъ машинныхъ производствъ. При устройствѣ большихъ машинныхъ фабрикъ, при вальцовкѣ или обработкѣ желѣза, одной изъ существенныхъ потребностей правильной поста-



87. Подвижной электрическій кранъ.

новки дѣла является сооруженіе приспособленій для подвоза и подъема матеріала. Производительность порта зависитъ весьма сильно отъ того, насколько цѣлесообразно устроены краны, предназначаемые для возможно быстрой разгрузки, а также наполненія товаромъ прибывающихъ въ гавань кораблей. Замѣчательный образчикъ подобныхъ сооруженій, обставленныхъ всѣми новѣйшими усовершенствованіями техники, представляютъ изъ себя гамбургскія свободныя портовыя станціи. Подъемныя машины могутъ быть

приведены въ дѣйствіе различными силами. Уже просто при помощи рукоятки можно достигнуть значительнаго выигрыша въ силѣ. Рис. 84 представляетъ свободно стоящій поворотный подъемный кранъ самаго простого устройства. На вращающійся барабанъ помощью ручки, соединенной съ механизмомъ изъ зубчатыхъ колесъ, наматывается цѣпь, которая посредствомъ неподвижнаго и подвижнаго блоковъ поднимаетъ наверхъ нѣкоторый грузъ. Кранъ этотъ можетъ вращаться вокругъ установленнаго вертикально столба; два человѣка, дѣйствуя этимъ краномъ, легко могутъ поднять грузъ до 2500 клгр. Въ наиболѣе употребительныхъ кранахъ для большихъ тяжестей пользуются силой какой-нибудь машины-двигателя. Прежде всего появились паровые краны или паровыя лебедки, особенно часто примѣняемые для портовыхъ станцій. На рис. 85 представленъ паровой кранъ Менка и Гамброка въ Альтонѣ (Menk und Hambrock) большого вѣса съ изогнутымъ грифомъ; кранъ этотъ можно везти по рельсамъ и поворачивать въ разныя стороны, на круговой подстанкѣ; передвиженіе это можетъ быть сдѣлано при помощи той же паровой машины. Для очень большихъ тяжестей употребляются различнаго рода подъемныя машины, для приведенія въ дѣйствіе которыхъ пользуются давленіемъ воды, а въ послѣднее время входятъ въ употребленіе краны съ электродвигателями.

Въ заводской промышленности, особенно на желѣзодѣлательныхъ и машинныхъ фабрикахъ перевозка тяжелаго груза съ одного мѣста на другое и распредѣленіе его по мастерскимъ и складамъ составляетъ не менѣе важный вопросъ, чѣмъ втаскиваніе наверхъ и принятіе груза съ корабля или нагруженіе его товаромъ. Для этой цѣли служатъ подвижные краны, на малыхъ же участкахъ употребляются подвижные лебедки и домкраты. Такая лебедка изображена на рис. 86. Она перемѣщается на маленькихъ колесикахъ, движущихся на прокатной балкѣ, которыя на рисункѣ видны по бокамъ, справа и слѣва; грузъ насаживается на крючокъ, скрѣпленный съ неподвижнымъ блокомъ, составляющимъ часть дифференціальнаго полиспаста. Пользуясь однимъ изъ воротовъ (на рисункѣ слѣва), приводимъ въ дѣйствіе полиспастъ и такимъ образомъ можемъ опустить или поднять грузъ. Вращеніемъ другого ворота достигается передвиженіе всего прибора вмѣстѣ съ насаженнымъ на немъ грузомъ. На рис. 87 представленъ кранъ, употребляемый на фабрикахъ, приводимый въ дѣйствіе электричествомъ. Кранъ этотъ устроенъ фирмой Цобеля, Нейберта и К° въ Шмалькальденѣ, спеціально занимающейся изготовленіемъ подобнаго рода приборовъ. По двумъ противоположнымъ стѣнамъ во всю длину фабричнаго помѣщенія прокладываются продольные рельсы, подпираемые снизу колоннами или скрѣпленные съ консолями. Поперечный остовъ сооруженія можетъ перемѣщаться на колесикахъ вдоль по рельсамъ. Электрическій двигатель помощью передаточнаго ремня приводитъ въ дѣйствіе машину, которая представляетъ соединеніе нѣсколькихъ группъ зубчатыхъ колесъ. Включая ту или другую группу, можно 1) поднять или опустить грузъ, привѣшиваемый къ подвижному блоку полиспаста, 2) этотъ блокъ вмѣстѣ съ грузомъ можно передвигать вправо и влѣво, для чего онъ снабженъ колесиками, движущимися по рельсамъ въ поперечномъ направленіи, или 3) весь кранъ вмѣстѣ съ грузомъ можно передвигать по продольнымъ рельсамъ вдоль всего помѣщенія фабрики. Слѣдовательно, такимъ образомъ крючекъ, къ которому привѣшивается грузъ, можно установить въ любомъ мѣстѣ.

Подводъ тока осуществляется при помощи проводовъ, проложенныхъ гдѣ-нибудь вдоль зданія фабрики въ сторонѣ отъ крана, такъ что отъ послѣдняго присоединяется къ нимъ лишь контактный шнуръ. Представленный здѣсь кранъ разсчитанъ на грузъ вѣсомъ до 10 000 килогр. Работоспособность электродвигателя — 8 лошадиныхъ силъ, такъ что въ продольномъ напра-

вленіи онъ можетъ передвинуть весь кранъ на 15 м. въ минуту или подвинуть одну только лебедку въ поперечномъ направленіи на 10 м. Не прибѣгая къ электричеству, можно приводить въ дѣйствіе этотъ кранъ непосредственно силой руки. Для полученія различнаго рода движеній можно пользоваться тремя воротами, цѣпи которыхъ свѣшиваются донизу.

Законы гидравлики и ихъ примѣненіе.

Горизонтальная поверхность жидкости. Водяной уровень. Нивеллировочные инструменты. Сообщающіеся сосуды. Гидростатическое давленіе. Гидравлическій прессъ. Сифонъ. Противодѣйствіе жидкости. Сегнерово колесо. Спокойное теченіе воды и бьющая струя. Промывалка. Героновъ фонтанъ. Ударъ жидкой струи. Водяные насосы.

Если мы, любуясь прекрасными величественными фонтанами парка въ Вильгельмсгее (вблизи Касселя), зададимъ вопросъ человѣку, хорошо знакомому съ устройствомъ этихъ сооруженій, откуда берется сила, способная поднять на такую высоту всю эту массу воды, то изъ отвѣта его мы узнаемъ, что для этого вовсе не требуется посторонней силы, иначе: давленіе на воду здѣсь производится естественными силами природы. На нѣкоторой находящейся неподалеку равнинѣ, лежащей значительно выше, нежели паркъ и окрестныя дворцовыя постройки, въ теченіе недѣли вслѣдствіе выпаденія дождя и другихъ осадковъ собирается такое количество влаги, что ея оказывается вполнѣ достаточно для того, чтобы разъ или два въ недѣлю можно было открывать на короткое время фонтаны. Если въ какомъ-либо производствѣ потребуется поставить новый паровой котелъ, то прежде всего фабричнымъ инспекторомъ должно быть произведено изслѣдованіе относительно его прочности. Изслѣдуется котелъ съ помощью небольшого насоса, одной рукой легко приводимаго въ дѣйствіе. Этимъ насосомъ производятъ на котелъ давленіе вдвое больше того, какому онъ будетъ подвергаться впослѣдствіи, подъ дѣйствіемъ пара, если котелъ предназначается для машины въ сто и болѣе лошадиныхъ силъ.



88 Водяной уровень.

Оба примѣра являются примѣненіемъ законовъ гидромеханики, т.-е. законовъ равновѣсія и движенія жидкостей, которые мы разсмотримъ подробнѣе.

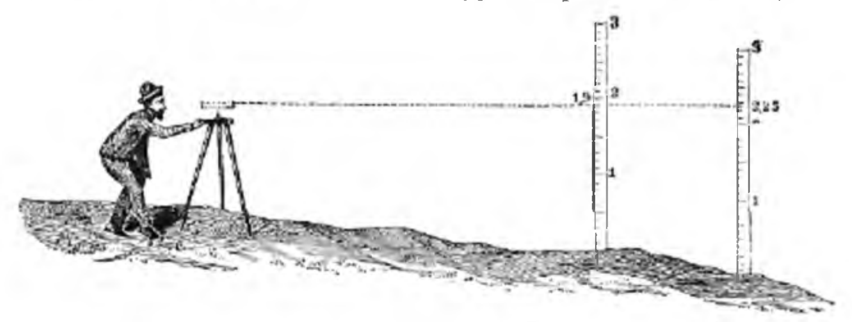
Горизонтъ. Такъ какъ сама по себѣ жидкость, какъ объ этомъ было уже говорено, своей формы не имѣетъ, то подъ дѣйствіемъ силы тяжести она должна принять такую форму, что поверхность ея представится шаровою, и центръ ея будетъ совпадать съ центромъ земли. Это означаетъ, что для случаевъ повседневной жизни мы можемъ считать поверхность жидкости горизонтальной. Что поверхность большого воднаго пространства въ дѣйствительности шаровая поверхность, можно уяснить себѣ изъ того факта, который обыкновенно приводится, какъ доказательство шарообразной формы земли: если мы, находясь въ открытомъ морѣ, ждемъ, когда покажется вдали корабль, то прежде всего на горизонтѣ предъ нашими глазами выступитъ изъ воды верхушка мачты, затѣмъ, по мѣрѣ приближенія, будетъ постепенно появляться корпусъ корабля, скрытый отъ насъ до тѣхъ поръ вслѣдствіе выпуклой формы водной поверхности.

Опредѣленіе положенія плоскости горизонта основывается на свойствѣ жидкости, благодаря которому ея поверхность въ каждой точкѣ оказывается нормальной къ направленію силы тяжести. Такъ что это свойство даетъ намъ въ руки средство, дополняющее лотъ; во многихъ случаяхъ оно оказалось весьма полезнымъ. Самое распространенное и извѣстное примѣненіе его представляетъ изъ себя уровень или ватерпасъ, столь всѣмъ знакомый, что намъ нѣтъ необходимости на немъ останавливаться. Для опредѣленія положенія горизонтали на большомъ протяженіи, гдѣ употребленіе обыкновеннаго уровня представляетъ неудобства, такъ какъ приходится много разъ повторять наблюденія, что дѣлаетъ способъ неточнымъ, прибѣгали раньше къ помощи такъ называемаго водяного уровня; имъ пользовались еще въ древности, и конструкція его до настоящаго времени не подверглась большимъ измѣненіямъ. Теперь онъ почти совершенно вытѣсненъ нивеллировочными инструментами, но все же еще можно встрѣтить употребленіе его при постройкѣ зданій. Когда напримѣръ для постройки дома требуется на различныхъ высотахъ, въ нѣсколькихъ пунктахъ возводимыхъ стѣнъ опредѣлить положеніе горизонтали, то почти всегда пользуются этимъ приборомъ, такъ какъ для этой цѣли онъ оказывается столь же пригоднымъ, какъ дорого стоющій и болѣе сложный нивеллиръ; онъ имѣетъ еще то преимущество передъ послѣднимъ, что не требуетъ тщательной установки передъ каждымъ испытаніемъ. Изъ рис. 88 видно, что водяной уровень состоитъ изъ трубки, которая оканчивается двумя изогнутыми къ верху колѣнами; въ нихъ помѣщаются двѣ стеклянныя трубочки. Трубка наполняется водой настолько, чтобы уровень ея стоялъ на нѣкоторой высотѣ въ стеклянныхъ трубочкахъ. Весь приборъ устанавливается на штативѣ (треногѣ), такъ приблизительно на 1,40 м. выше фундамента. Какъ бы приборъ ни стоялъ, поверхность жидкости въ мѣстахъ *b* и *c* будетъ представлять сѣченіе одной и той же горизонтальной плоскости. Если направить глазъ въ даль по прямой, проходящей черезъ эти точки, то лучъ зрѣнія *abcx* пойдетъ по горизонтали. Если хотятъ опредѣлить отношеніе высотъ различныхъ мѣстъ или высоту ихъ относительно нѣкотораго опредѣленнаго мѣста, какъ говорятъ, опорнаго пункта, то во всѣхъ такихъ мѣстахъ устанавливаютъ масштабъ съ дѣленіями. Если, положимъ, визируя извѣстный пунктъ, мы увидимъ дѣленіе масштаба (рейки), соотвѣтствующее высотѣ 1,90 метръ (см. рис. 89), а визируя другой пунктъ отмѣтимъ дѣленіе, отвѣчающее высотѣ 2,25 м., то значитъ послѣдній пунктъ лежитъ на 35 см. ниже перваго.

Замѣчаніе, что уровень жидкости въ обѣихъ трубкахъ отвѣчаетъ одной и той же горизонтальной плоскости, основывается на законѣ сообщающихся сосудовъ. Послѣдній гласитъ: находясь въ покоѣ, жидкость, налитая въ сосудъ, устанавливается повсюду на одной и той же высотѣ, независимо отъ того, допускаетъ ли сосудъ сплошную форму ея поверхности, или же эта поверхность разбивается на нѣсколько отдѣльныхъ частей вслѣдствіе того, что сосудъ представляетъ соединеніе нѣсколькихъ сообщающихся между собою трубокъ; ни расположеніе ихъ, ни вмѣстимость не играютъ здѣсь роли. Если однако въ обоихъ колѣнахъ сообщающихся сосудовъ налиты жидкости не одинаковаго удѣльнаго вѣса: въ одномъ, положимъ, масло, въ другомъ вода, то высоты жидкостей уже не будутъ одинаковы; болѣе легкая жидкость устанавливается выше. Объяснить это себѣ легко, такъ какъ для существованія равновѣсія необходимо, чтобы высоты жидкостей въ томъ и другомъ колѣнѣ были бы обратно пропорціональны ихъ плотностямъ.

Для опредѣленія высотъ различныхъ мѣстъ, или при нивеллировкѣ, на такомъ разстояніи, гдѣ, работая съ водянымъ уровнемъ, нельзя уже невоору-

женнымъ глазомъ прочесть цифръ на рейкѣ или сдѣлать точный отсчетъ дѣленій, присоединяютъ къ уровню зрительную трубу, что и послужило основаніемъ къ устройству нивеллировочныхъ инструментовъ, ставшихъ прямо предметомъ необходимости для инженеровъ и землемѣровъ. Рис. 90 изображаетъ простѣйшій нивеллиръ. Вверху надъ зрительной трубой въ металлической оправѣ помѣщенъ водяной уровень такъ, что ось его строго параллельна оси трубы. Труба и уровень могутъ вращаться относительно вертикальной оси, проходящей черезъ ихъ середину и строго къ нимъ перпендикулярной. Если теперь при помощи винтовъ установимъ приборъ такимъ образомъ, чтобы онъ принялъ горизонтальное положеніе, т.-е. высоты въ трубкахъ совпадали, то и подзорная труба расположится строго горизонтально; такимъ образомъ является возможность визировать предметъ прямо трубою. Во всемъ остальномъ приборъ ничѣмъ не отличается отъ водяного уровня. Если два или нѣсколько пунктовъ, относительныя высоты которыхъ требуется опредѣлить, не лежатъ одинъ подъ другимъ (не одной вертикали), а расположены одинъ лѣвѣе, а другой правѣе, слѣдуетъ установить



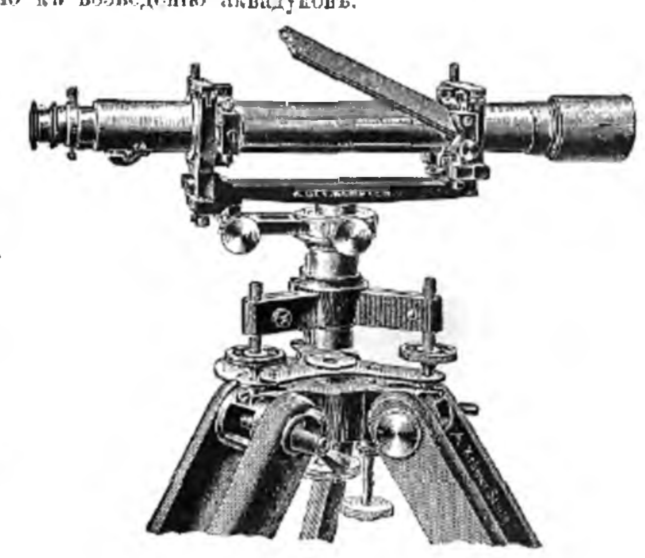
89. Нивеллированіе

уровень предварительно такимъ образомъ, чтобы высоты жидкости въ обоихъ его колѣнахъ совпадали во всѣхъ положеніяхъ при вращеніи его около вертикальной оси, такъ что какъ уровень, такъ и труба при этомъ вращеніи будутъ описывать кругъ, лежащій строго въ горизонтальной плоскости. Опредѣленіе высотъ большимъ хорошимъ нивеллиромъ можетъ быть произведено съ чрезвычайной точностью. При разстояніи въ километръ ошибка не превосходитъ нѣсколькихъ сантиметровъ.

Закономъ сообщающихся сосудовъ нерѣдко пользуются при устройствѣ водопроводовъ, когда путь, по которому должны быть проложены трубы, преграждается рѣкою или оврагомъ; въ этомъ случаѣ не проводятъ трубъ надъ обрывомъ, не измѣняя ихъ уклона, а наоборотъ спускаютъ ихъ съ одной стороны внизъ по оврагу, а затѣмъ опять подымаютъ ихъ вверхъ по другому склону.

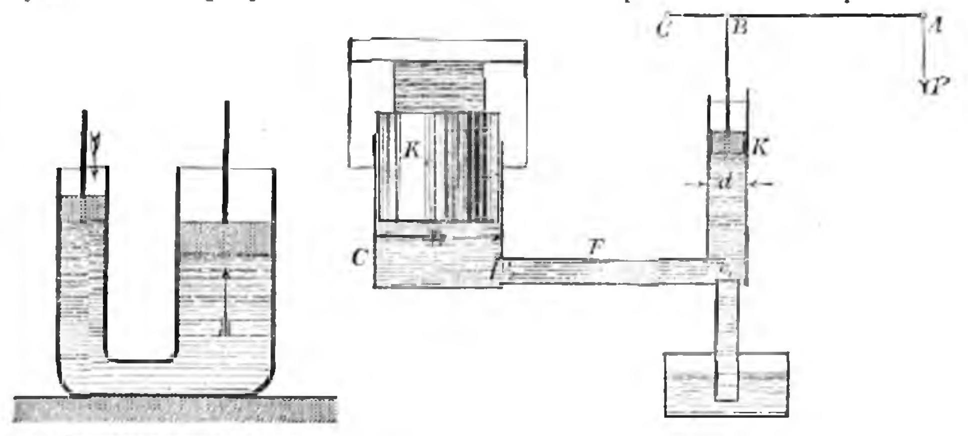
Очень вѣроятно, что римлянамъ не былъ извѣстенъ законъ сообщающихся сосудовъ, или по крайней мѣрѣ они не знали, какъ можно имъ воспользоваться при возведеніи своихъ, во всѣхъ отношеніяхъ замѣчательныхъ водопроводныхъ сооруженій, такъ какъ, когда приходилось проводить трубы черезъ покатыя равнины, они устроивали свои акведуки, для поддержки которыхъ возводили сводчатый фундаментъ. Длина одной изъ такихъ трубъ, Aqua Marcia, достигала 100 км., такъ какъ для избѣжанія перехода черезъ обрывъ ее вели вдоль откоса равнины приблизительно подъ однимъ уклономъ; по прямому же направленію разстояніе было всего 53 км. Aqua Claudia имѣла въ длину 68,7 км., причемъ на протяженіи 14 км были положены акведуки. Часть подобныхъ сооруженій сохранилась до настоящаго времени, и теперь еще ими пользуются для снабженія Рима

ключевой водой. Можно сдѣлать предположенiе, что строители этихъ монументальныхъ сооруженiй желали удовлетворить свое честолюбiе, оставивъ по себѣ памятникъ, который могъ бы существовать долгiе годы; такъ что, пожалуй, незнанiе, что можно вести прокладку трубъ, слѣдуя всѣмъ уклонамъ и изгибамъ, привело къ возведенiю акведуковъ.



90. Нивеллиръ.

Законы гидростатическаго давленiя. Давленiе, производимое на воду, заключенную въ замкнутый, недеформирующiйся сосудъ, передается во всѣ стороны съ одинаковой силой. Вода одинаково давитъ на всю внутреннюю поверхность сосуда: на стѣнки, дно и крышку, независимо отъ того, какую они имѣютъ форму, такъ что на каждую единицу поверхности придется такое же давленiе, какъ и давленiе, производимое извнѣ, разсчитанное тоже на единицу поверхности. Если меньшiй поршень (рис. 91) давитъ на воду съ силой десяти килограммовъ, то давленiе, оказываемое на поршень въ другомъ колѣнѣ, дiаметръ котораго вдвое больше будетъ въ четыре раза больше (такъ какъ поверхность этого поршня въ



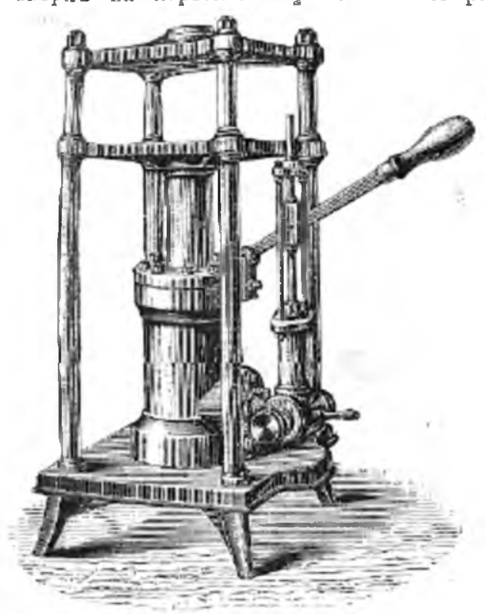
91. Гидростатическое давленiе.

92. Гидравлическiй прессъ.

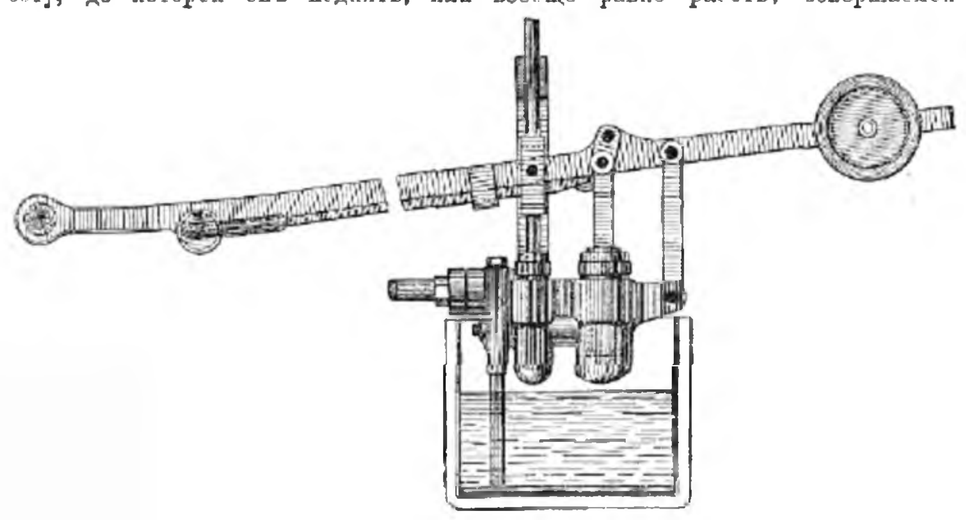
4 раза больше), т.-е. $4 \times 10 = 40$ клг. Соотвѣтственнымъ образомъ давленiе распредѣлится по стѣнкамъ сосуда.

На свойствѣ жидкости передавать давленiе во всѣ стороны съ одинаковой силой основано устройство гидравлическаго пресса. Изобрѣтенiе это относится къ концу восемнадцатаго вѣка (1795 г.). Оно было сдѣлано Iосифомъ Брамою (Bramah) въ Лондонѣ. Рис. 92 представляетъ въ схематическомъ видѣ такой прессъ наиболѣе простого устройства. Внѣшнiй его видъ изображенъ на рис. 93. Сила P, дѣйствуя на рычагъ ABC посред-

ствомъ насоса съ поршнемъ K, малаго поперечнаго сѣченія, и клапановъ v_1 и v_2, накачиваетъ воду въ цилиндръ C подъ поршень K_2. Давленіе снизу вверхъ *на поршень* K_2 во столько *разъ* больше давленія на поршень K_1, во сколько разъ площадь перваго больше площади второго. Кромѣ того по закону рычага сила P, прилагаемая къ рычагу въ точкѣ A, должна быть увеличена въ отношеніи плечъ рычага $AC : BC$. Если діаметры малаго и большого поршня будутъ соотвѣтственно d и D, то *давленіе на* $K_2 = P \cdot \frac{AC}{BC} \cdot \frac{D^2}{d^2}$. Соотвѣтственнымъ подборомъ діаметровъ того и другого поршня можно достигнуть чрезвычайно большого увеличенія давленія, но въ такой же мѣрѣ уменьшится и скорость, съ которой большой поршень будетъ подниматься вверхъ; опять-таки приходимъ къ равенству: произвед. (силы $\times$ путь, проход. точкой прил. силы) = произвед. (груза $\times$ путь, проход. грузомъ). Здѣсь это нужно понимать такимъ образомъ: произвед. изъ давленія, сообщаемаго

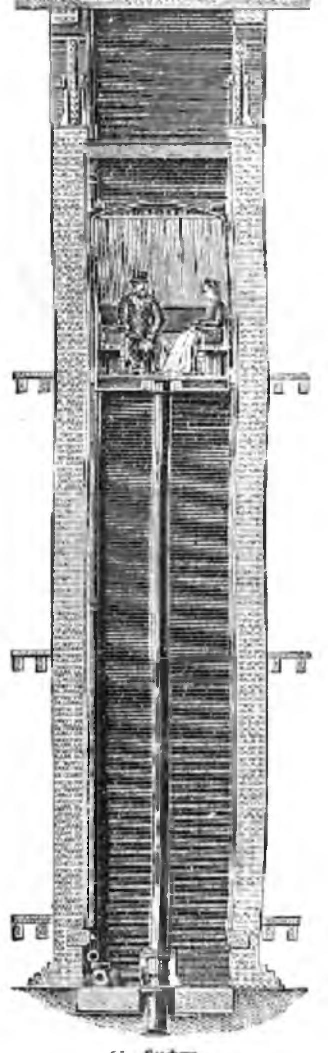

93. Гидравлическій прессъ.

малому поршню, на высоту поднятія да на число поднятій равно вѣсу груза, положеннаго на платформу большого поршня, умноженному на высоту, *до которой онъ поднятъ, или вообще равно работѣ, совершаемой*


94. Нагнетательный насосъ.

такъ или иначе поршнемъ. Такъ напримѣръ, при торможеніи поѣзда эта работа поршня выражается тѣмъ, что колеса вагона плотно прижимаются къ оси. Вслѣдствіе незначительной сжимаемости жидкости достаточно небольшое количество ея заставить войти въ наполненный уже сосудъ, чтобы тѣмъ быстро произвести весьма высокое давленіе. Сжимая воду, можно безъ опа-

сенія доводить давленіе до весьма высокой степени, такъ какъ, если бы, не выдержавъ такого давленія, цилиндръ или трубка лопнули, то въ тотъ же моментъ и давленіе бы прекратилось, потому что вода взрыва произвести не можетъ. Весьма выгодно пользуются этимъ свойствомъ при испытаніи паровыхъ котловъ. Если бы при испытаніи котелъ подвергать дѣйствію пара, оказывая на него давленіе вдвое больше нормальнаго, и, случись, онъ лопнетъ, такъ могутъ произойти большія несчастія; тогда какъ, если испытаніе ведется съ помощью водяного насоса, изъ образовавшейся трещины брызнетъ только струя, но разрыва котла не послѣдуетъ. Изобрѣтатель гидравлическаго пресса ввелъ его примѣненіе при прессовкѣ сѣна, льна, шерсти, и т. п., такъ что вообще имъ можно пользоваться для замѣны винтового пресса во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется произвести большое давленіе, напримѣръ при фабрикаціи пороха; довольно оригинальнымъ является примѣненіе его для шлифовки и полированія металловъ, а также не менѣе интересно пользованіе имъ вмѣсто крана для подъятія тяжестей. За сто лѣтъ, что прошли со времени этого изобрѣтенія, область примѣненія его все расширялась, особенно за послѣднія пятьдесятъ, такъ что нельзя даже перечислить всѣхъ случаевъ, гдѣ имъ пользуются.



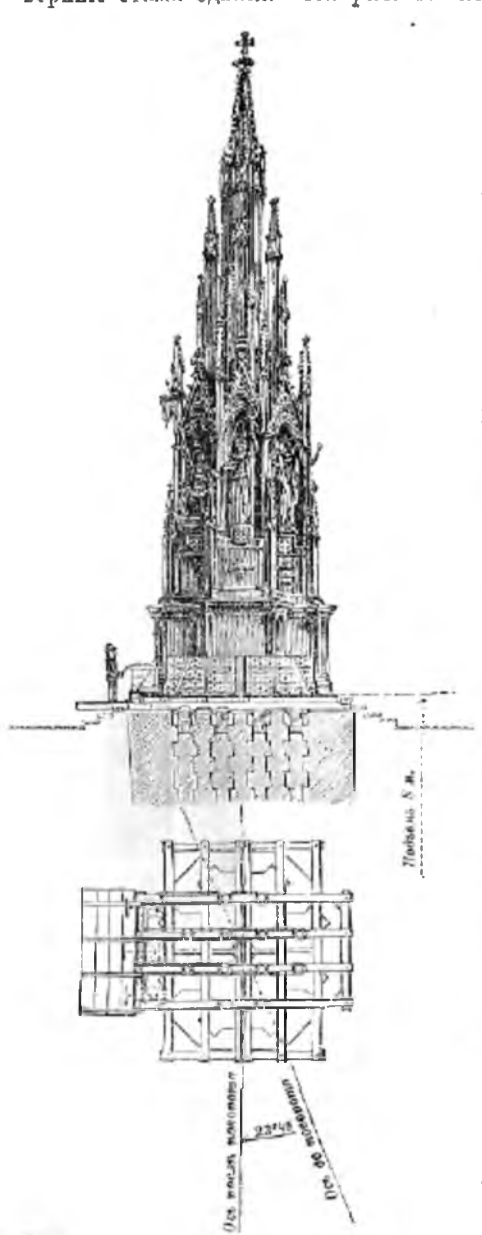
95. Лифтъ.

Нагнетательный насосъ не долженъ быть непосредственно связанъ съ цилиндромъ гидравлическаго пресса. Онъ можетъ даже быть значительно удаленъ отъ послѣдняго, только въ такомъ случаѣ для доставки воды должны быть проложены достаточно крѣпкія трубы. Можно даже, устроивъ въ одномъ мѣстѣ главную станцію, гдѣ бы работалъ такой насосъ, приводить при помощи его въ дѣйствіе нѣсколько гидравлическихъ прессовочныхъ машинъ. Гдѣ не требуется большого давленія, тамъ употребляются ручные насосы; одинъ изъ такихъ насосовъ изображенъ на рис. 94. Вода накачивается изъ желѣзнаго бака; маленькій цилиндръ (слѣва) и представляетъ изъ себя прессъ; рядомъ съ нимъ помѣщается насосъ (цилиндръ большихъ размѣровъ), его назначеніе — доставлять въ бакъ необходимое количество воды. Въ случаѣ надобности можно заставить и этотъ насосъ работать вмѣстѣ съ насосомъ гидравлическаго пресса. Слѣва, у края рычага, помѣщается рабочій, справа находится противовѣсъ для того, чтобы легче было поднять рычагъ; вѣдь, само собой понятно, что, опуская рычагъ, мы можемъ сильнѣе на него дѣйствовать, чѣмъ поднимая. Отъ маленькаго цилиндра (влѣво) отводится соединительная трубка.

Чтобы показать, сколь разнообразны и многочисленны примѣненія гидравлическаго пресса, опишемъ еще нѣсколько приборовъ, гдѣ вода является средствомъ для передачи давленія.

Простѣйшими изъ такихъ приборовъ нужно считать тѣ, гдѣ поршень, подверженный давленію воды, самъ непосредственно совершаетъ нѣкоторую работу, напримѣръ давитъ на колеса при торможеніи поѣзда (случай, о ко-

торомъ уже упоминали) или поднимаетъ извѣстный грузъ. Послѣдній случай примѣненія является при пользованіи лифтами, на которыхъ поднимаются въ верхніе этажи зданія. На рис. 95 изображенъ такой лифтъ, такая машина всемірноизвѣстной фабрики К. Гоппе въ Берлинѣ (C. Hoppe), спеціально занимающейся изготовленіемъ **гидравлическихъ механизмовъ**. Такого рода приборы можно встрѣтить въ большихъ торговыхъ заведеніяхъ, заводахъ и въ артеляхъ.



96. Гидравлическій подъемъ и поворотъ крейцбергскаго памятника.

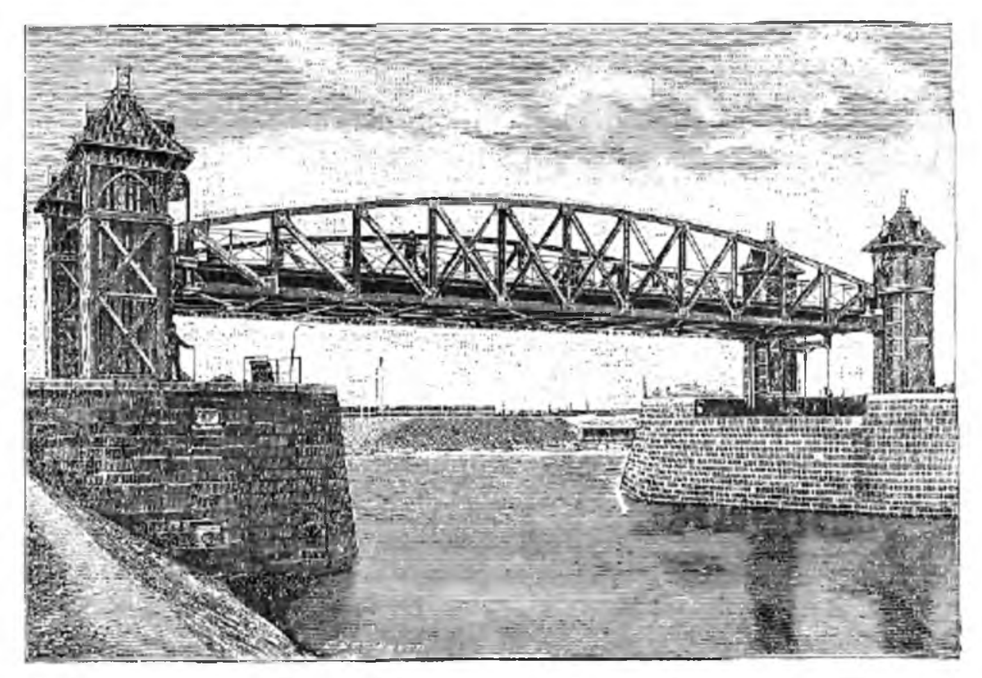
Въ цилиндрѣ гидравлическаго пресса, который настолько глубоко врывается въ землю, насколько слѣдуетъ поднять платформу, ходитъ длинный поршень, продѣваемый черезъ верхній **сальникъ**; поршень этотъ долженъ быть совершенно непроницаемъ для воды. На платформѣ устраивается кабина (подъемный ящикъ), которая движется въ деревянномъ срубѣ или каменномъ люкѣ, останавливаясь у площадки того или другого этажа. На рисункѣ слѣва внизу виденъ отростокъ водопроводной трубы. Когда клапанъ, впускающій воду, открытъ, она будетъ вступать подъ поршень — послѣдній не занимаетъ сплошь все пространство внутри цилиндра, а, какъ сказано, можетъ двигаться въ сальникѣ—и оказывать на него давленіе снизу вверхъ. Въ зависимости отъ производимаго на воду давленія и площади поперечнаго сѣченія поршня можно поднимать такимъ образомъ грузъ болѣе или менѣе значительнаго вѣса. Пользованіе приборомъ до крайности просто: для поднятія груза требуется только открыть и, когда слѣдуетъ, закрыть клапанъ, впускающій воду; для опусканія же слѣдуетъ открыть **выводной** клапанъ.

Очень интересный случай пользованія *гидравлическими подъемными* машинами представляетъ изъ себя поднятіе памятника на Крейцбергѣ въ Берлинѣ. Были употреблены 12 гидравлическихъ прессовъ, чтобы поднять его на высоту 8 м. и затѣмъ повернуть на 24° около оси. Прессы эти состояли изъ трехъ отдѣльныхъ самостоятельныхъ группъ, такъ что въ каждую изъ нихъ входили четыре соединенные между собой пресса; регулируя соотвѣтственно впускъ воды въ каждую изъ трехъ группъ, можно было достигнуть того, что во все время подъема памятникъ сохранялъ горизонтальное положеніе. Впослѣдствіи горка, служащая основаніемъ памятнику, была насколько нужно приподнята; склоны ея

украсились великолѣпными сооруженіями; особенно прекрасенъ роскошный водопадъ, для снабженія водой котораго у подошвы горы работаетъ цѣлый рядъ насосовъ. Благодаря всему этому Крейцбергскій памятникъ (рис. 96) является одной изъ первыхъ достопримѣчательностей Берлина. Съ пьедестала памятника открывается видъ на цѣлое море зданій мощной столицы Германіи.

На рис. 97 изображенъ наконецъ мостъ въ Магдебургѣ (въ новой части города), подымаемый гидравлическими кранами для пропуска судовъ въ гавань; всѣ работы по устройству этихъ крановъ произведены упомянутой ранѣе фирмой. Съ обоихъ концовъ мостъ опирается на платформы двухъ поршней гидравлическаго лифта; когда нужно пропустить суда, оба поршня давленіемъ воды равномѣрно поднимаются вверхъ.

Вообще о передачѣ силы при помощи гидравлическихъ машинъ мы будемъ еще говорить въ концѣ III-ей части этого тома.



97. Гидравлическій подъемъ моста.

Въ открытомъ сосудѣ жидкость давитъ на дно съ силою, равной вѣсу столба этой жидкости, основаніе котораго составляетъ дно сосуда, а высота равна разстоянію отъ дна сосуда до уровня жидкости. Въ тоже время давленіе на каждый элементъ стѣнки сосуда равно вѣсу столбика съ поперечнымъ сѣченіемъ равнымъ площади этого элемента до поверхности жидкости. Гидростатическое давленіе оказывается вполнѣ независимымъ ни отъ формы сосуда, ни отъ его размѣровъ, а только отъ его высоты (подразумѣвая давленіе на единицу поверхности). Давленіе на дно и стѣнки обоихъ сосудовъ, представленныхъ на рис. 98 и 99, будетъ одинаково, если жидкость налита до одной и той же высоты, тогда какъ вмѣстимость этихъ сосудовъ различна. Вставляя въ закупоренный сосудъ съ водою узенькую трубочку, мы можемъ произвести на дно этого сосуда огромное давленіе, вливая въ



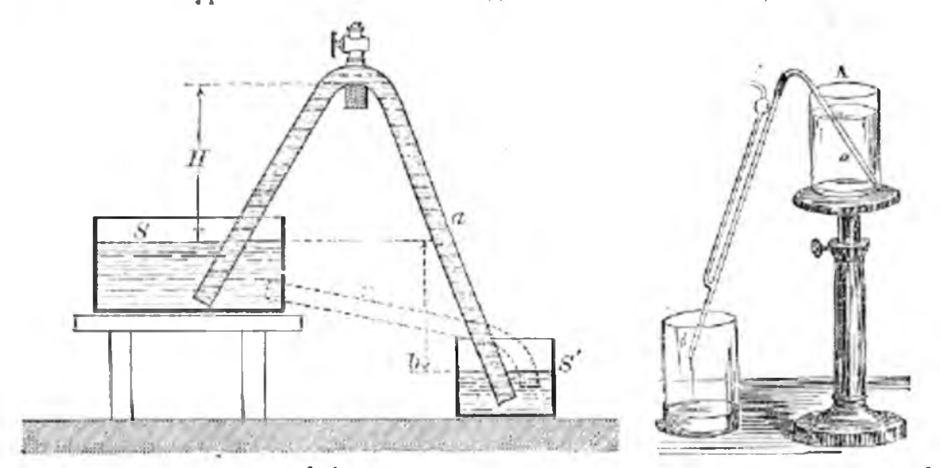


98 и 99. Гидростатическое давленіе

трубочку ничтожное сравнительно количество воды; аналогичное явленіе происходитъ, когда мы пользуемся гидравлическимъ прессомъ. Но если бы и здѣсь мы сдѣлали попытку воспользоваться этимъ явленіемъ для производства какой-либо работы (превратить напримѣръ его въ движеніе, замѣняя замкнутый со всѣхъ сторонъ сосудъ цилиндромъ, въ который вдвинутъ поршень), то сразу бы убѣдились, что отъ такого примѣненія нельзя ожидать большой выгоды, такъ какъ только-что поршень нѣсколько перемѣстится, подчиняясь производимому на него давленію, сразу же окажется использованнымъ все количество жидкости, занимавшей узенькую трубочку, потому что теперь часть жидкости, наполнявшей сосудъ, перейдетъ въ пространство, освобожденное движеніемъ поршня, а вмѣстѣ съ тѣмъ исчезнетъ и давленіе на поршень.

100. Ливеръ.

Сифонъ. Какъ далѣе будетъ объяснено подробнѣе, воздухъ оказываетъ всестороннее давленіе на тѣла, которыя онъ окружаетъ. Это давленіе оказывается равно 1,03 кгр. или, какъ говорится, круглымъ числомъ 1 кгр. на кв. см. Слѣдовательно атмосфернымъ давленіемъ можно уравновѣсить столбъ воды высотою въ 10 м., такъ какъ онъ

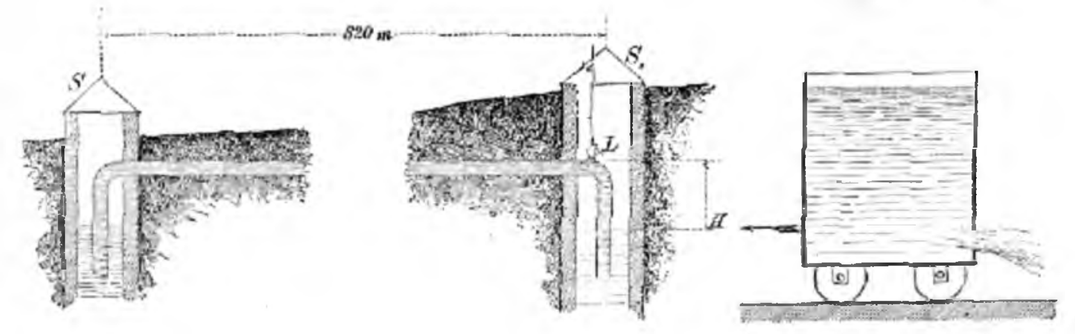


101. Сифонъ. 102. Сифонъ съ вспомогательной трубкой.

также на 1 кв. см. основанія будетъ давить съ силою 1 кгр. [1 000 см. $\times$ 1 кв. см. = 1 000 куб. см. = 1 кгр.]. Значитъ, если трубка однимъ концомъ погружена въ воду, а съ другого конца воздухъ будетъ выкачанъ или нѣсколько разрѣженъ, то, такъ какъ атмосфера будетъ оказывать больше давленія на часть поверхности, не занятую трубкой, жидкость въ ней станетъ подниматься; какъ иногда выражаются: пустота втягиваетъ въ себя воду. Если бы воздухъ былъ выкачанъ вполнѣ, то высота поднятія воды достигла бы 10 метровъ.

На этомъ основывается устройство ливера (рис. 100). Онъ состоитъ изъ продолговатаго сосуда, въ которомъ имѣются отверстія сверху и снизу; опустивши этотъ сосудъ нижнимъ концомъ въ воду, закрываютъ послѣ того верхнее отверстіе пальцемъ; когда его затѣмъ снова вынуть, то онъ оказывается наполненъ водою. При самомъ поднятіи часть жидкости выливается, отчего воздухъ надъ поверхностью ея въ сосудѣ разрѣжается, и образовавшаяся пустота не позволяетъ ей больше вытекать. Приподнявши чуть-чуть палецъ надъ верхнимъ отверстіемъ, мы выпустимъ большее или меньшее количество жидкости въ зависимости отъ того, сколько вошло воздуху. Если опустимъ однимъ концомъ въ жидкость изогнутую, съ двумя неравными ко-

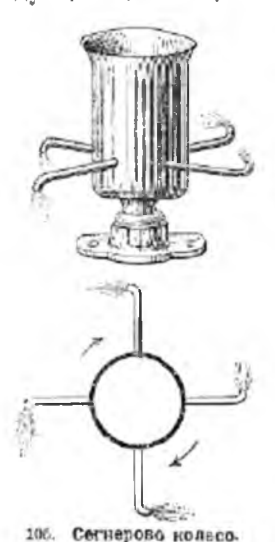
лѣнами трубочку — такая трубка представляетъ изъ себя обыкновенный сифонъ (рис. 101) — и въ длинномъ колѣнѣ станемъ разрѣжать воздухъ, высасывая его хотя бы при помощи краничка, устроеннаго въ самой верхней части изогнутой трубки, то жидкость прежде всего поднимется доверху и затѣмъ станетъ вытекать съ другого конца сифона, и нужно добиться только начала этого процесса, чтобы онъ затѣмъ уже продолжался самъ собой; жидкость будетъ вытекать изъ длиннаго колѣна все время, пока уровень ея въ верхнемъ сосудѣ не опустится до начала короткаго колѣна сифона; если трубка сифона подведена подъ дно сосуда, то вода будетъ вытекать до полнаго его опоражниванія. Явленіе идетъ совершенно такимъ же образомъ, т.-е. скорость истеченія жидкости совершенно такая же, какая была бы въ томъ случаѣ, если бы жидкость стекала по трубкѣ *r* того же протяженія, обозначенной на рисункѣ пунктиромъ. Вся жидкость въ трубкѣ выше уровня *a* находится очевидно въ равновѣсіи, часть же жидкости, въ длинномъ колѣнѣ сифона ниже этого уровня, вытекая изъ него, увлекаетъ за собою остальную жидкость силой сцѣпленія. По теоретическимъ вычисленіямъ высота *H* можетъ достигать 10 м., но въ дѣйствительности такъ высоко жидкость никогда не поднимается, такъ какъ, пользуясь обыденными средствами, въ родѣ простого высасыванія, мы не можемъ вполнѣ выкачать воздухъ. Чѣмъ глубже вставленъ короткій конецъ сифона, считая отъ поверхности *S*, тѣмъ больше скорость истеченія воды; когда же наконецъ длинный конецъ тоже окажется погруженнымъ въ жидкость, то для разсчета высоты придется принять во вниманіе разстояніе *ab* между уровнями жидкости *S* и *S'*.



103. Сифонный водопроводъ въ Килѣ. 104. Гидродинамическая реакція.

Рис. 102 представляетъ еще одинъ изъ видовъ сифона, которымъ часто пользуются для того, чтобы отлить изъ сосуда нѣкоторое количество жидкости; въ немъ для высасыванія воздуха устроена сбоку отдѣльная трубочка, чѣмъ устраняется недостатокъ обыкновеннаго сифона, гдѣ высасывать воздухъ съ нижняго конца сифона не только что оказывается неудобно, но даже иногда, если приходится имѣть дѣло съ различными маслами или керосиномъ, довольно-таки невкусно. Особенно важное примѣненіе имѣетъ сифонъ въ водоподъемныхъ машинахъ, когда требуется подвести воду изъ бассейна въ глубокую шахту, а соединить ихъ просто при помощи водопроводной трубы не представляется возможнымъ. Въ Килѣ, для снабженія города водой, устроенъ сифонъ въ 800 метровъ длины; изъ нѣсколькихъ трубчатыхъ колодцевъ вода собирается въ общій выложенный камнемъ бассейнъ *S*, водоподъемныя же машины находятся въ 800 метрахъ разстоянія, гдѣ устроенъ второй, болѣе глубокій, бассейнъ *S'*, изъ котораго и берется вода. Непосредственное сообщеніе между двумя бассейнами можно бы было сдѣлать только значительно ниже уровня грунтовыхъ водъ. Въ самой верхней части сифоннаго провода воздухъ выкачивается черезъ всасывающій клапанъ *L*, такъ что вода непре-

рывно поступаетъ въ шахту водяного насоса. Сифонъ представляетъ изъ себя желѣзную трубку, 50 см. въ діаметрѣ; въ сутки онъ можетъ доставить до 15 000 куб. м., т.-е. въ минуту болѣе 10 000 литровъ воды. Прокладку трубъ слѣдуетъ вести весьма тщательно, особенно наблюдая затѣмъ, чтобъ *нигдѣ не было скважинъ; здѣсь вода не будетъ вытекать изъ скважины*, какъ вообще въ водопроводныхъ трубахъ, но черезъ нее будетъ врываться въ сифонъ воздухъ, котораго тамъ быть не должно; воздухъ этотъ будетъ собираться вверху сифона, уменьшая тѣмъ разрѣженіе этого пространства, и наконецъ дѣло дойдетъ до того, что перевѣсъ атмосфернаго давленія уже окажется недостаточнымъ для того, чтобы удержать въ равновѣсіи водяную колонну высоты H, отчего сифонъ перестанетъ дѣйствовать; онъ, такъ сказать, распадается, т.-е. сообщеніе между тѣмъ и другимъ колѣномъ прекращается, и вода свободно выливается съ обоихъ концовъ. Даже когда труба достаточна прочна, въ верхней части сифона все же будетъ скопляться воздухъ, выдѣляющійся изъ воды, такъ что необходимо его отъ времени до времени выкачивать, для чего пользуются воздушнымъ насосомъ, приводимымъ въ дѣйствіе паровой машиной.


106. Сегнерово колесо.

Гидродинамическое отталкиваніе. Жидкость, налитая въ сосудъ цилиндрической формы съ плотными стѣнками, будетъ находиться въ равновѣсіи, такъ какъ давленіе будетъ равномѣрно распредѣлено по всей внутренней поверхности сосуда. Если же гдѣ-нибудь сбоку продѣлать отверстіе, то вода станетъ выливаться, и давленіе въ этой части уже прекратится, значитъ съ противоположной стороны явится перевѣсъ давленія, и сосудъ получитъ стремленіе двигаться въ направленіи, противоположномъ тому, по которому бьетъ струя. Это стремленіе называютъ гидродинамическимъ отталкиваніемъ или реакціей бьющей струи. Если сосудъ легко можетъ быть сдвинутъ съ мѣста, напримѣръ если онъ стоитъ на колесикахъ, то онъ и покатится по названному направленію (рис. 104). На этомъ основано устройство извѣстнаго прибора, называемаго Сегнеровымъ колесомъ (рис. 105). Въ нижней части сосуда, наполняемаго водой, вставлены крестообразно четыре трубочки; всѣ онѣ расположены горизонтально и на кончикахъ загнуты въ одномъ и томъ же направленіи, такъ что выходныя отверстія лежатъ на одной окружности, концентричной съ обводомъ сосуда. Весь сосудъ можетъ вращаться вокругъ вертикальной оси, проходящей черезъ его середину. Реакція струи, бьющей изъ отверстій боковыхъ трубочекъ, скажется въ томъ, что сосудъ станетъ вращаться въ томъ направленіи, какое указано стрѣлками. Принципомъ Сегнерова колеса пользуются для поливки дерновыхъ лужаекъ, устраивая приборы, приводимые въ дѣйствіе давленіемъ воды. Одно изъ важныхъ примѣненій того же принципа является въ устройствѣ реакціонныхъ турбинъ, о которыхъ рѣчь будетъ далѣе при описаніи различнаго рода машинъ-двигателей.

Истеченіе воды. Бьющая струя. По закону сообщающихся сосудовъ вода въ трубкѣ, отведенной отъ бассейна, расположеннаго на нѣкоторой возвышенности, должна подыматься до уровня этого бассейна. Но это относится только къ статическому состоянію. Если же вода будетъ приведена въ движеніе, т.-е. будетъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ выливаться наружу, то это явленіе сопровождается нѣкоторымъ уменьшеніемъ давленія. Давленіе въ зависимости отъ увеличенія скорости движенія жидкости въ трубкѣ, т.-е. въ зависимости отъ быстроты увеличенія количества выливающейся жидкости,

будетъ падать быстрѣе, наконецъ оно сведется къ нулю. Кромѣ того паденіе давленія зависитъ еще отъ тренія о внутреннюю стѣнку трубки, т.-е. отъ вещества этой стѣнки. Если воду начнемъ выпускать подъ нѣкоторымъ давленіемъ (положимъ, давленіе является отъ того, что мы пускаемъ воду съ нѣкоторой высоты), то скорость ея движенія при выходѣ изъ трубки будетъ зависѣть отъ высоты паденія, отъ величины и формы отверстія. Если выводной протокъ направленъ кверху, то струя воды поднимется на нѣкоторую высоту, которая всегда оказывается меньше высоты ея паденія, т.-е. меньше высоты уровня того бассейна, откуда отходитъ трубка.

Давленіе конечно можетъ быть произведено и другимъ образомъ: ну напримѣръ, если заключить воду въ цилиндрическій сосудъ и сжимать ее поршнемъ (пожарная труба) или сгущать надъ ней воздухъ; послѣднимъ средствомъ пользуются въ Героновомъ шарѣ и въ Героновомъ фонтанѣ.

Устройство этихъ приборовъ приписывается греческому ученому Герону, работавшему въ Александрійскомъ музеѣ (приблизительно за 100 лѣтъ до Р. Хр.), но это нельзя признать вполнѣ достовѣрнымъ, такъ какъ по послѣднимъ изслѣдованіямъ оба эти изобрѣтенія оказываются не столь давняго происхожденія. Теперь новѣйшую модель Геронова шара представляетъ изъ себя обыкновенную промывалку, которой часто пользуются въ лабораторіяхъ (рис. 107). Стеклянная колба плотно закрывается обыкновенной или, лучше того, каучуковой пробкой; въ пробку вставлены двѣ изогнутыя стеклянныя трубочки: одна изъ нихъ только чуть-чуть выступаетъ ниже пробки, другая же вдвинута почти до дна колбы. Вдувая черезъ первую трубку воздухъ, мы произведемъ сгущеніе его надъ поверхностью воды, отчего она станетъ въ другой трубочкѣ подниматься и выходить черезъ открытый конецъ наружу.



106. Фонтанъ.

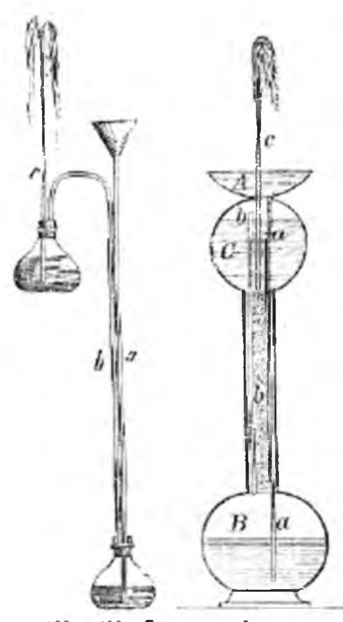
Рисунки 108 и 109 представляютъ два различныхъ устройства Геронова фонтана. Сифонная трубка (рис. 108) вставлена плотно въ два герметически закупоренные сосуда; въ нижнемъ конецъ ея опущенъ почти до дна, въ верхнемъ же чуть вдвинутъ. Въ верхній сосудъ кромѣ того воткнута трубка *C*, кончикъ которой оттянутъ, такъ что она имѣетъ весьма узкій выходной протокъ; въ нижній сосудъ также вставлена вторая очень длинная трубка *A*, съ воронкообразнымъ расширеніемъ наверху. Вливая въ нее воду, мы заставляемъ воздухъ въ нижнемъ сосудѣ сжиматься подъ вліяніемъ производимаго на него давленія; посредствомъ трубки *b* сжатый воздухъ будетъ давить на жидкость, заключенную въ верхнемъ сосудѣ, и она станетъ выходить въ видѣ тонкой струйки изъ трубочки *c*. Другое устройство (рис. 109) проще и практичнѣе; здѣсь оба сосуда представляютъ одно цѣлое. Воду наливаютъ въ верхнюю чашку, которая при помощи трубочки *a* сооб-



107. Промывательная лабораторная стклянка.

щается съ нижней расширенной частью сосуда B, такъ что воздухъ надъ поверхностью жидкости станетъ сгущаться, перейдетъ по трубкѣ b въ баллонъ C и здѣсь произведетъ давленіе на воду, вслѣдствіе чего она будетъ выходить вверхъ по трубкѣ c. Въ двухъ наиболѣе узкихъ мѣстахъ, гдѣ соединяются три отдѣльныя части прибора, требуется особенно тщательная закупорка всѣхъ отверстій, черезъ которыя проходятъ соединительныя трубки a и b. Модель Геронова фонтана примѣняется при устройствѣ комнатныхъ фонтановъ. Находясь въ соотвѣтствующей обстановкѣ, окруженный густолиственными декоративными растеніями, такой фонтанъ можетъ быть лучшимъ украшеніемъ зала.

Ударъ струи. Какъ вообще всякое тѣло, вода, находясь въ движеніи, обладаетъ нѣкоторымъ запасомъ энергіи или живой силы, величина которой зависитъ отъ количества жидкости и скорости движенія. Эта живая сила можетъ перейти въ механическую работу и можетъ быть сообщена другому тѣлу. Если струя жидкости встрѣтитъ на своемъ пути преграду въ видѣ твердаго тѣла, то она ударяется объ его поверхность. Строго говоря, въ данномъ случаѣ удара не произойдетъ, такъ какъ это явленіе не сопровождается мгновеннымъ измѣненіемъ скорости. Въ зависимости отъ формы поверхности струя отклонится въ извѣстномъ направленіи и сообщитъ запасенную энергію ударяемому тѣлу, отчего то въ свою очередь придетъ въ движеніе. На этомъ основано устройство подливныхъ колесъ и акціонныхъ турбинъ, о чемъ намъ придется еще говорить въ отдѣлѣ, посвященномъ машинамъ-двигателямъ. Непосредственное пользованіе живой силой, сообщаемой тѣлу при ударѣ струи, находимъ мы въ приборѣ, извѣстномъ подъ названіемъ гидравлическаго тарана. Это интересное изобрѣтеніе принадлежитъ механику Монгольфье въ Сен-Клу, вблизи Парижа; оно относится къ 1797 году. Въ одномъ водолѣчебномъ заведеніи ему удалось наблюдать такое явленіе: если водопроводный кранъ сразу закрыть въ то время, какъ вода изъ него вытекаетъ съ большой быстротой, то весь проводъ испытываетъ сильное сотрясеніе. Отсюда онъ вывелъ заключеніе, что если сообщить такой ударъ водѣ, движущейся по трубѣ, то высота поднятія струи въ этотъ моментъ будетъ значительно больше той, какой можно достигнуть, производя постепенно нѣкоторое давленіе на жидкость, такъ что она даже перейдетъ за уровень того бассейна, отъ котораго отведена труба.



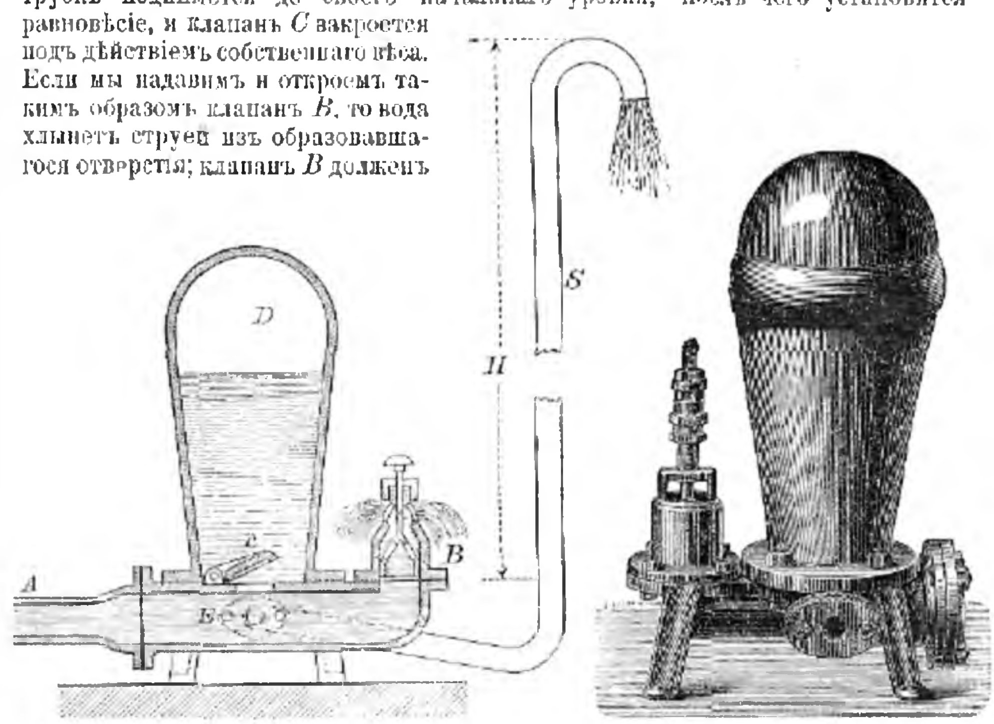
108 и 109. Героновъ фонтанъ.

Отъ такихъ сотрясеній трубы легко лопаются, хотя при испытаніи онѣ выдержали давленіе вдвое болѣе средняго. Поэтому почти во всѣхъ городскихъ водопроводахъ обязательно предписывается устраивать такіе краны, которые нельзя было бы закрыть однимъ поворотомъ ручки, т.-е. ставить напримѣръ завинчивающіеся краны, а не просто коническіе. Толстыя литого желѣза водопроводныя трубы, проложенныя подъ мостовой, могутъ дать трещину, если слишкомъ быстро закрыть регуляторный клапанъ. Напередъ даже нельзя разсчитать, какъ велико здѣсь давленіе; оно можетъ достигнуть 15—20 атмосферъ, тогда какъ среднее давленіе всего $^1/_3$ атм.

Наблюденія, о которыхъ мы говорили, привели Монгольфье къ изобрѣтенію его гидравлическаго тарана. Онъ предназначенъ для того, чтобы

поднять на большую высоту малое количество воды, использовавъ при этомъ большое ея количество, но не производя высокаго давленія.

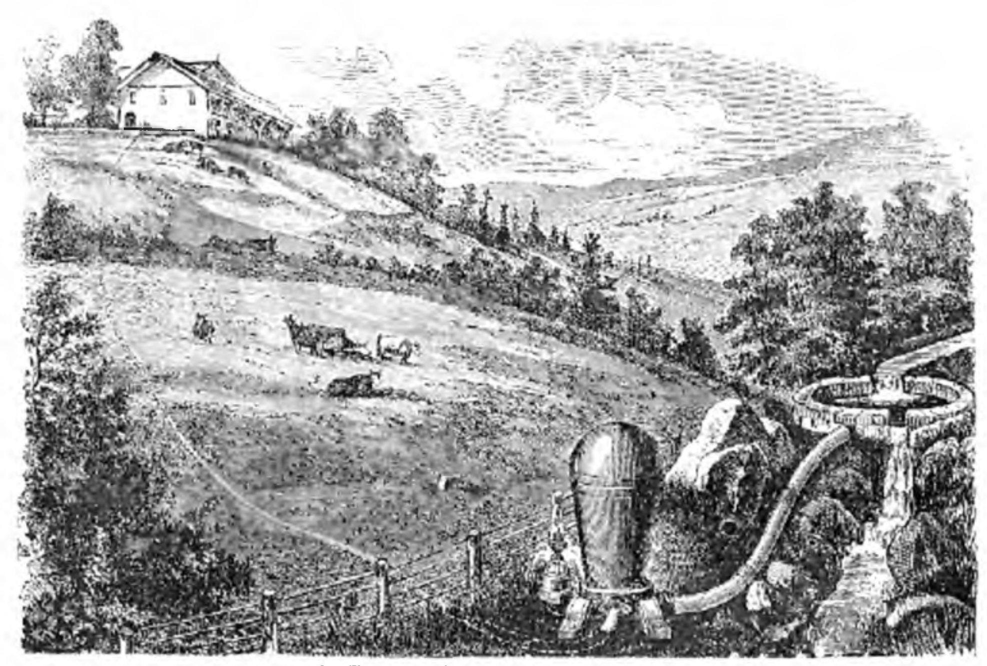
Рис. 110 и 111 представляютъ общеупотребительную въ настоящее время конструкцію. Вода изъ бака направляется къ прибору по трубкѣ *A*. *B*—это нажимной клапанъ съ висящей свободно заслонкой, которая остается открытой вслѣдствіе собственной тяжести. Притекающая вода надавитъ снизу на этотъ клапанъ, откроетъ клапанъ *C*, закрывавшій доступъ въ резервуаръ *D*, и станетъ подниматься вверхъ въ этомъ резервуарѣ. Сбоку у него имѣется штутцеръ (короткая трубочка) *E*, къ которому примыкаетъ водоподъемная труба *S*; по закону сообщающихся сосудовъ вода въ этой трубкѣ поднимется до своего начальнаго уровня, послѣ чего установится равновѣсіе, и клапанъ *C* закроется подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса. Если мы надавимъ и откроемъ такимъ образомъ клапанъ *B*, то вода хлынетъ струей изъ образовавшагося отверстія; клапанъ *B* долженъ



110 и 111. Гидравлическій таранъ.

имѣть большое поперечное сѣченіе, чтобы сразу можно было выпустить много воды и такимъ образомъ во всемъ приборѣ привести ее въ сильное волненіе. По прошествіи малаго времени клапанъ отпускаютъ; вода тотчасъ снова его захлопнетъ и затѣмъ произведетъ сотрясеніе во всѣхъ частяхъ прибора, отдавая весь запасъ живой силы; подъ вліяніемъ толчка клапанъ *C* откроется, вода быстро станетъ наполнять резервуаръ, такъ что воздухъ въ немъ сгустится, и уровень ея въ трубкѣ *S* поднимется. Послѣ того какъ произведенное ударомъ дѣйствіе прекратится, давленіе на воду въ резервуаръ увеличится соразмѣрно увеличенію высоты поднятія воды въ трубкѣ *S*, такъ что клапанъ *C* снова закроется. Затѣмъ вторично открываютъ на короткое время нажимной клапанъ и все пойдетъ въ прежнемъ порядкѣ. Таранъ будетъ уже дѣйствовать самостоятельно. Послѣ каждаго удара, вслѣдъ затѣмъ какъ клапанъ *C* закроется, вода, протекающая изъ бака, не будетъ испытывать уже столь высокаго давленія, и заслонка нажимного клапана подъ дѣйствіемъ собственной тяжести опустится, самый клапанъ откроется, и вода брызнетъ изъ него струей, но подъ напоромъ этой струи

клапанъ снова закроется, и въ такомъ порядкѣ всѣ явленія будутъ періодически повторяться, такъ что насосъ будетъ все время непрерывно и самостоятельно функціонировать; сжатый воздухъ (въ резервуарѣ D) служитъ регуляторомъ производимаго отдѣльными толчками давленія, такъ что поднятіе воды не будетъ совершаться порывисто, а наоборотъ жидкость будетъ плавно идти вверхъ по трубамъ и выливаться изъ ея отверстія ровной струей. Чтобы прекратить дѣйствіе тарана, держать нѣкоторое время нажимной клапанъ закрытымъ, пока вода во всемъ приборѣ не придетъ въ состояніе покоя. Количество воды, доставляемое вверхъ по подъемной трубѣ, всегда гораздо меньше того количества, которое выливается изъ крана B, въ особенности если высота поднятія должна быть значительно больше высоты уровня воды въ бакѣ. Само собой понятно, чтобы достигнуть большей высоты поднятія, нужно использовать большее количество воды. При благо-

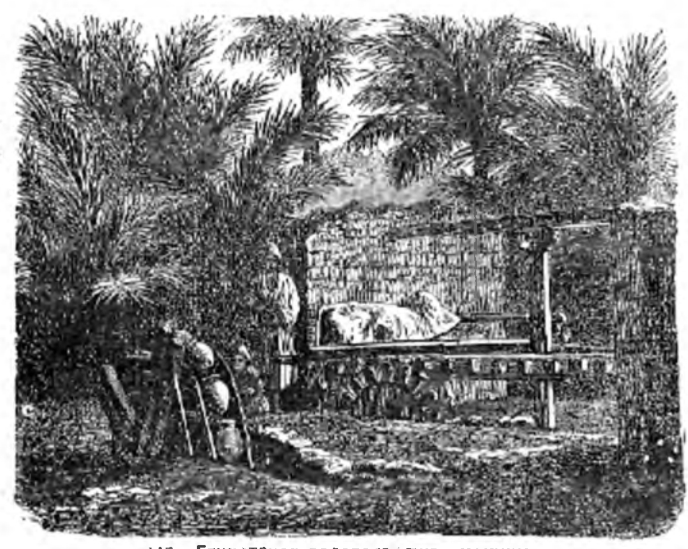


112. Примѣненіе гидравлическаго тарана

пріятныхъ обстоятельствахъ, если бакъ повѣшенъ довольно высоко, а подъемъ воды не особенно великъ, полезное дѣйствіе достигаетъ 70%; обыкновенно оно гораздо меньше.

При продолжительной работѣ тарана, въ особенности когда вода протекаетъ къ нему съ большой высоты, воздухъ въ резервуарѣ D будетъ ею увлекаться и подыматься вверхъ по водоподъемной трубѣ, но такъ какъ для правильной работы тарана необходимо имѣть извѣстный запасъ сжатаго воздуха, то нужно найти какое-нибудь средство пополнять этотъ убытокъ. Для этой цѣли въ трубѣ, подводящей воду къ тарану, дѣлаютъ маленькую дырочку недалеко отъ того мѣста, гдѣ она подходитъ къ резервуару; изъ этой дырочки все время брызжетъ вода, но въ тотъ моментъ, когда тотчасъ вслѣдъ за ударомъ происходитъ уменьшеніе давленія, наружный воздухъ будетъ всасываться черезъ эту дырочку, смѣшиваться съ водой и при слѣдующемъ ударѣ поступать въ резервуаръ. Гидравлическій таранъ особенно удобно ставить въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ вода спускается внизъ по крутому

склону, гдѣ течетъ горный ручей, бьютъ ключи, и вообще является даровой источникъ, доставляющій необходимое количество воды. Источникъ долженъ доставлять чистую воду, такъ какъ эта вода не только совершаетъ работу, но часть ея идетъ въ потребленіе, да и самый приборъ не будетъ дѣйствовать, если клапаны будутъ засоряться отъ того, что вода недостаточно чиста. Такъ какъ приборъ не требуетъ за собой никакого ухода, то онъ представляетъ простое и дешевое (по сравненію съ водопроводами) средство водоснабженія отдѣльныхъ жилыхъ помѣщеній, дачъ и усадебъ. Иногда имъ пользуются для снабженія ключевой водой цѣлыхъ округовъ, для устройства фонтановъ и орошенія данной мѣстности. Эта область имъ давно уже завоевана, но гдѣ требуется доставка очень большого количества воды, тамъ примѣненіе его конечно не представляетъ удобства.

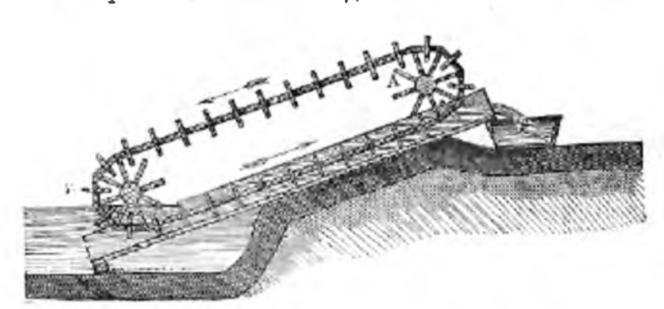

113. Египетская водоподъемная машина.

Водоподъемныя машины и пожарная труба.

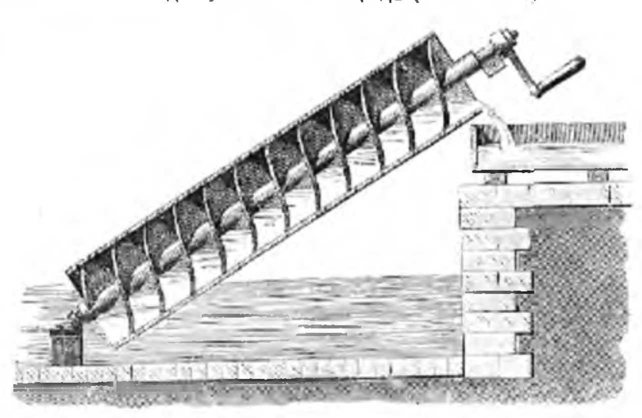
Уже съ давнихъ поръ ощущалась насущная потребность въ устройствѣ водоподъемныхъ машинъ, при помощи которыхъ можно было бы брать воду изъ рѣкъ, и не только въ цѣляхъ удовлетворенія нуждъ домашняго обихода, но также, въ странахъ земледѣльческихъ, преимущественно для орошенія мѣстности. Еще за много тысячелѣтій до нашей эры у вавилонянъ, египтянъ и индійцевъ былъ хорошо разработанъ вопросъ относительно устройства правильной системы орошенія, но въ то время рѣдко гдѣ употреблялись приборы для искусственнаго подъема воды. Такія приспособленія распространены были главнымъ образомъ въ Египтѣ; образчики ихъ сохранились до нынѣ, и мы ихъ можемъ встрѣтить не мало по берегамъ Нила у феллаховъ. На рис. 113 представлена египетская водоподъемная машина, такъ называемая Сакія. На желобъ деревяннаго колеса, вращающагося около горизонтальной оси, надѣтъ безконечный канатъ; къ этому канату прикрѣпляется цѣлый рядъ глиняныхъ кружекъ. Для того, чтобы привести во вращеніе валъ колеса, впрягаютъ вола, который, бѣгая все время по кругу, приводитъ въ движеніе


114. Колодецъ.

передаточный механизмъ, состоящій всего изъ двухъ деревянныхъ зубчатыхъ колесъ. Когда колесо вращается, глиняныя кружки опускаются открытымъ концомъ внизъ, зачерпываютъ воду и поднимаются доверху, гдѣ, опрокидываясь, выливаютъ содержимое въ особый лотокъ, а затѣмъ снова идутъ внизъ, чтобы зачерпнуть воду. Это сооруженіе древности является противомъ такихъ водоподъемныхъ машинъ, гдѣ прямо достаютъ воду изъ колодца ведромъ. Почти въ такой же формѣ, какъ въ древности, пользуются имъ и теперь еще въ деревняхъ, вмѣсто обыкновеннаго журавля (рис. 114), если колодецъ очень глубокъ. Тогда ставятъ воротъ, приводимый во вращеніе съ помощью ручекъ; на валъ его намотана цѣпь съ ведромъ, которое опускаютъ въ колодецъ, когда хотятъ достать воду. Другимъ также старшинымъ приспособленіемъ подобнаго же типа является водочерпательное колесо, которымъ донынѣ пользуются въ Голландіи для отливки воды. Оно представляетъ изъ себя, такъ сказать, обращенное гидравлическое колесо. Вмѣсто того, чтобы заставлять воду вращать лопатки колеса и такимъ образомъ производить работу, само это колесо посторонней силой приводятъ во вращеніе, и тогда лопатки его будутъ зачерпывать воду и выливать въ желобъ, по которому она будетъ стекать по другую сторону плотины. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Голландіи до десятка вѣтряныхъ мельницъ работаютъ спеціально для того, чтобы приводить во вращеніе водочерпательныя колеса.



115. Водочерпательный снарядъ (Pater noster).

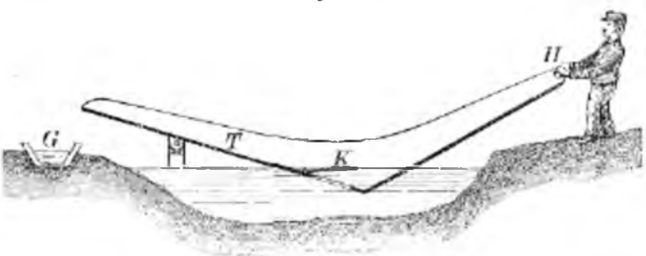


116. Архимедовъ винтъ

На рис. 115 представленъ водочерпательный снарядъ столь же давняго происхожденія, извѣстный подъ названіемъ Pater noster (четки). Черезъ два колесика со спицами *A* и *B* проходитъ цѣпь или лента, также со вдѣланными въ нее поперечными лопаточками, которыя аккуратно входятъ въ наклонный деревянный желобъ. Когда мы заставимъ колесо *A* вращаться, лопаточки будутъ гнать воду вверхъ по желобу, откуда она будетъ стекать въ приставленный къ нему лотокъ.

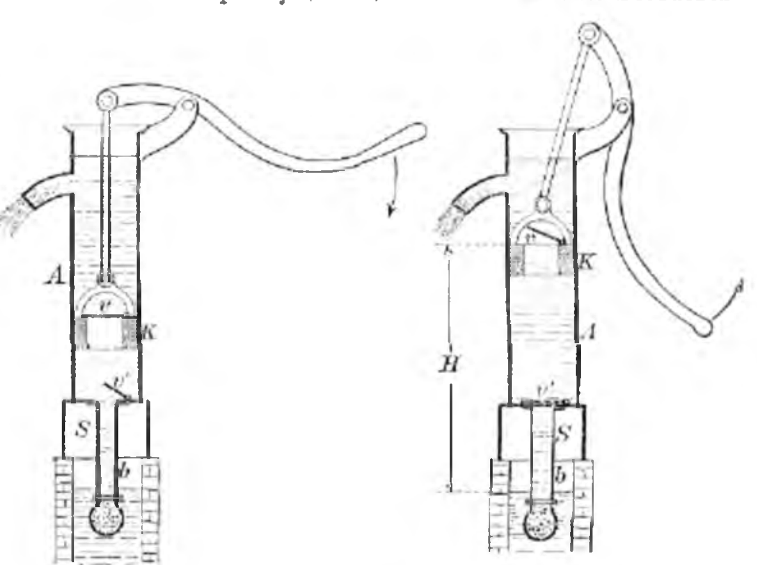
Архимедовъ винтъ, представленный въ разрѣзѣ на рис. 116, является уже болѣе совершеннымъ изобрѣтеніемъ. Самый винтъ заключенъ въ открытую съ обоихъ концовъ цилиндрическую коробку, такъ что края нарѣзки вплотную прилегаютъ къ внутреннимъ стѣнкамъ. Ось винта укрѣплена въ двухъ мѣстахъ такимъ образомъ, что можетъ свободно вращаться во втулкахъ. Если станемъ вращать ручку въ направленіи, противоположномъ тому, въ какомъ спускается нарѣзка, то вода, прилегающая къ нижнему концу поверхности винта, будетъ мало-по-малу подниматься вверхъ и ста-

неть наконецъ съ другого конца вливаться въ желобъ. Архимедовымъ винтомъ и до настоящаго времени пользуются тамъ, гдѣ требуется на нѣкоторое время выкачать воду, не прибѣгая къ сложнымъ приспособленіямъ; подобный случай можетъ встрѣтиться при прорытіи каналовъ или укладкѣ фундамента. Высота поднятія воды теоритически можетъ быть очень велика, и весь вопросъ сводится лишь къ тому, чтобы изготовить винть большихъ размѣровъ. Очень простой также приборъ представляетъ изъ себя водоподъемное корытце, изображенное на рис. 117, но имъ можно пользоваться только тогда, когда требуется поднять воду на самую незначительную высоту. Корытце T можно опускать и поднимать изъ воды при помощи ручки H; при погруженіи его въ воду клапанъ K открывается, и вода входитъ въ корытце; когда снова поднимемъ его вверхъ, этотъ клапанъ закроется, а вода будетъ стекать въ лотокъ G.



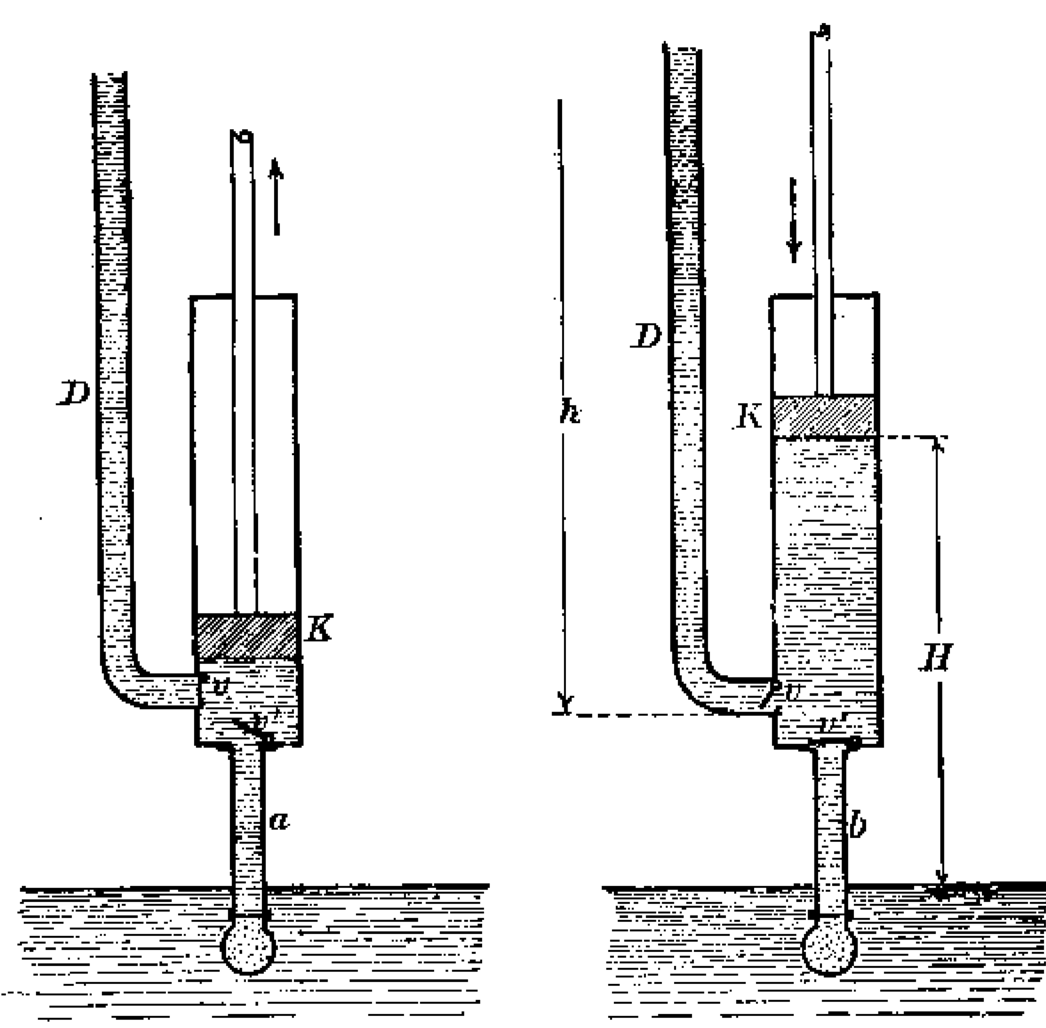
117. Водоподъемное корытце.

Самое широкое распространеніе получили разнаго рода водяные насосы, которые имѣютъ то важное преимущество, что ими можно пользоваться всегда, а не въ какихъ-либо отдѣльныхъ случаяхъ, какъ то бываетъ при употребленіи вышеописанныхъ приборовъ. Всасывающій насосъ примѣнялся еще во времена Аристотеля; изобрѣтеніе перваго нагнетательнаго насоса, устройство котораго въ общихъ чертахъ таково же, какъ и употребляемыхъ въ настоящее время, принадлежитъ по всей вѣроятности ученому Александрійской школы Крезибіосу, сдѣлано имъ приблизительно за сто лѣтъ до Р. Хр. Въ царствованіе Цезаря Августа водяные насосы съ поршнями были распространены повсемѣстно, какъ это мы можемъ заключить изъ сочиненій, оставленныхъ зодчимъ Августа, Витрувіемъ. Принципъ устройства насоса очень простъ. На рис. 118 представлена схема обыкновеннаго всасывающаго насоса, простѣйшаго устройства. При описаніи сифона мы уже познакомились съ тѣмъ фактомъ, что вода поднимается вверхъ по трубкѣ, изъ которой выкачанъ воздухъ, подъ вліяніемъ внѣшняго атмосфернаго давленія, и высота поднятія при абсолютной пустотѣ, какъ мы видѣли, достигаетъ 10 м.; если же воздухъ только разрѣженъ, то вода уже



118 и 119. Всасывающій насосъ

не поднимется до этого уровня, а остановится на той или другой высотѣ въ зависимости отъ степени разрѣженія воздуха. Въ поломъ цилиндрѣ A ходитъ поршень кольцевой формы K; этотъ поршень долженъ по возможности плотно прилегать къ стѣнкамъ цилиндра и не пропускать черезъ себя воздуха; въ верхней части его находится подвижной клапанъ V. Вмѣстѣ съ тѣмъ какъ поршень опускается или поднимается, этотъ клапанъ будетъ открываться или закрываться. Такой же точно клапанъ находится въ нижней части цилиндра; имъ преграждается доступъ въ трубочку S, соединенную съ сѣтчатымъ сосудомъ, погруженнымъ въ водоемъ b. Поршень поднимается и опускается при помощи изогнутой ручки. Въ томъ положеніи, какое изображено на рисункѣ, поршень только еще началъ подниматься: клапанъ v вслѣдствіе собственной тяжести и давленія сверху остается закрытымъ, воздухъ подъ поршнемъ будетъ разрѣженъ. Внѣшнее атмосферное давленіе заставитъ воду войти въ трубку S, и она станетъ подниматься вверхъ вслѣдъ за поршнемъ. При движеніи ручки въ обратномъ направленіи (рис. 119) поршень будетъ давить на воду въ цилиндрѣ. Теперь наоборотъ клапанъ v' закроется и откроется клапанъ v, такъ что водѣ будетъ открытъ доступъ въ верхнюю часть цилиндра (выше поршня). При новомъ поднятіи поршня она также будетъ стремиться вверхъ къ выводной трубкѣ; въ то же время черезъ открытый клапанъ v' будетъ поступать въ цилиндръ новый запасъ воды. Максимальная высота поднятія воды въ цилиндрѣ по теоретическимъ вычисленіямъ достигаетъ 10 м., такъ что, дѣйствуя всасывающимъ насосомъ, нельзя поднять воду выше этого уровня; въ дѣйствительности она будетъ подниматься не выше 6—7 м., *такъ какъ невозможно достигнуть того, чтобы поршень и клапаны* совсѣмъ не пропускали воздуха. Когда поршень поднятъ выше максимальнаго уровня, вода уже не будетъ подниматься вслѣдъ за нимъ и входить въ сдѣланную въ немъ выемку, и онъ будетъ дальше двигаться въ пространствѣ, наполненномъ разрѣженнымъ воздухомъ.

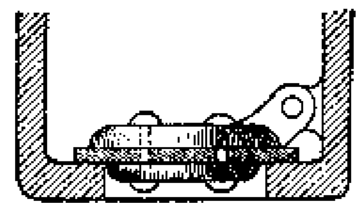


120 и 121. Всасывающій и нагнетательный насосъ.

Если требуется поднять воду на большую высоту, прибѣгаютъ къ помощи нагнетательнаго насоса; принципъ его устройства тотъ же, только отдѣльныя части прибора иначе расположены, какъ это видно изъ рисунковъ 120 и 121. Самый поршень здѣсь клапана не имѣетъ, а клапанъ помѣщается въ началѣ отростка водоподъемной трубки D, куда нагнетается вода. При поднятіи поршня (рис. 120) клапанъ v', какъ и раньше, открывается, а клапанъ v остается закрытымъ вслѣдствіе давленія воды въ трубкѣ D. Когда станемъ опускать поршень, клапанъ v' закроется; подъ

давленіемъ поршня вода откроетъ клапанъ v и пойдетъ вверхъ по водоподъемной трубкѣ; какъ только прекратится движеніе поршня, или какъ только онъ начнетъ подниматься, клапанъ v тотчасъ же закроется. Такимъ образомъ, когда въ цилиндръ всасывается вода, онъ находится въ сообщеніи съ водоподъемной трубкой, когда же при опусканіи поршня вода вталкивается въ эту трубку, онъ разобщенъ отъ трубки b, идущей къ водоему, такъ что нагнетательнымъ насосомъ можно поднять воду на какую угодно высоту h, хотя въ цилиндрѣ уровень ея H всегда будетъ находиться ниже извѣстной предѣльной высоты, какъ и въ обыкновенномъ всасывающемъ насосѣ.

Обыкновенные насосы съ поршнемъ работаютъ гораздо лучше, если цилиндръ уже наполненъ водой, а не приходится вбирать ее въ первый разъ, такъ какъ намокшій поршень лучше можетъ не пропускать воздуха, чѣмъ сухой. Нѣкоторые насосы, не очень хорошей работы, гдѣ по большей части дѣлается кожаная прокладка, совершенно не всасываютъ въ себя воду, оставаясь нѣкоторое время сухими. Тогда слѣдуетъ предварительно впустить сверху воду и манипулировать съ нимъ нѣкоторое время, прежде чѣмъ употребить его въ дѣло. Это замѣчаніе хорошо имѣть въ виду, когда для отливки воды при постройкѣ зданій приходится пользоваться насосами, которые долго оставались безъ употребленія. Поэтому недурно слѣдить за тѣмъ, чтобы послѣ работы съ насосомъ нижній клапанъ всегда оставался закрытымъ, и въ цилиндрѣ была постоянно вода.


122. Клапанъ.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію нѣкоторыхъ наиболѣе замѣчательныхъ конструкцій водяныхъ насосовъ, скажемъ нѣсколько словъ о томъ, какое устройство придается клапанамъ этихъ насосовъ.

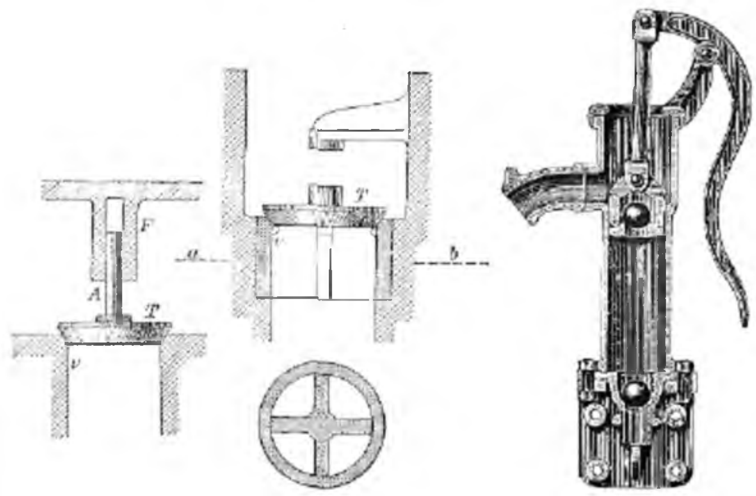
Самая старая и наиболѣе употребительная форма, въ особенности въ домовыхъ насосахъ, это — шарнирный или створчатый клапанъ; онъ можетъ быть примѣненъ какъ вводящій или выводящій; чаще же всего такой клапанъ устраивается въ нижней части трубки, черезъ которую вода поступаетъ въ цилиндръ изъ водоема. Когда насосъ перестаетъ работать, клапанъ этотъ закрывается, и вода не будетъ выходить изъ трубки, такъ что потомъ легче снова пустить его въ ходъ. Къ этимъ клапанамъ обыкновенно присоединяется металлическая сѣточка, предназначенная для того, чтобы удалить изъ воды наиболѣе крупные сторонніе предметы, которые могли бы засорить насосъ. Створчатый клапанъ состоитъ изъ круглой удобоподвижной крышки, которая плотно пристаетъ къ гладко отшлифованной кольцеобразной подставкѣ. Между крышкой и этой подставкой дѣлается обыкновенно прокладка изъ кожи или вулканизированнаго каучука, въ формѣ плоскаго кружка, подходящаго какъ разъ подъ выступъ крышки, и прикрѣпляемая къ кольцеобразной подставкѣ (гнѣздо клапана). Гнѣзда клапана обыкновенно дѣлаются изъ латуни или какого-либо сплава мѣди, такъ какъ этотъ металлъ сохраняетъ шлифовку лучше, чѣмъ литое желѣзо. Въ насосахъ простѣйшаго устройства клапанъ прикрѣпляется прямо при помощи лоскутка кожи; въ лучшихъ же конструкціяхъ дѣлается шарнирное соединеніе, какъ указано на рисункѣ 122. Большіе, тяжелые клапаны, закрываясь, сильно ударяютъ о гнѣздо, въ особенности если они открываются очень широко; чтобы этому воспрепятствовать, крышку клапана дѣлаютъ двойной, т.-е. вмѣсто одной устраиваютъ двѣ полукруглыя дверки, такъ что каждая прикрѣпляется особымъ шарниромъ къ общей перекладинѣ, которая дѣлитъ пополамъ поперечный разрѣзъ между обѣими дверками.

Въ коническихъ клапанахъ герметическая закупорка достигается безъ помощи прокладокъ. Конусомъ здѣсь называется тарелочка T, которая аккуратно входитъ въ коническое отверстіе v, сдѣланное въ гнѣздѣ клапана (рис. 123 и 124). Подобнаго рода клапаны изготовляются изъ бронзы, латуни или другого какого-нибудь сплава мѣди. Они требуютъ тщательной работы и дѣйствуютъ только тогда, если вода вполнѣ чиста; достаточно, чтобы одна песчинка засѣла въ пространствѣ между тарелочкой и отверстіемъ въ гнѣздѣ клапана, какъ онъ уже начинаетъ пропускать воду. Тарелочка клапана должна двигаться вверхъ и внизъ по вертикальному направленію, такъ что слѣдуетъ сдѣлать какое-либо приспособленіе, позволяющее ей все время сохранять строго направленіе движенія и не допускающее подниматься выше опредѣленной высоты. При той конструкціи, какая

изображена на рисункѣ, это достигается тѣмъ, что къ тарелочкѣ клапана припаивается стерженекъ *A*, который ходитъ въ муфтѣ *F*, припаянной въ свою очередь къ крышкѣ клапана. На рис. 124 изображено еще болѣе совершенное устройство: къ конусу припаяны двѣ закраины, плотно входящія въ пазы гнѣзда; для того, чтобы не дать тарелочкѣ подняться слишкомъ высоко, въ верхней части оправы клапана прикрѣпленъ особый шпенекъ.

Наконецъ слѣдуетъ еще упомянуть о шаровыхъ клапанахъ; здѣсь отверстіе клапана закрывается при помощи аккуратно выточеннаго шарика, входящаго въ соотвѣтствующее ложе. Рисунокъ 125 представляетъ ручной насосъ съ шаровымъ клапаномъ, употребляемый для дегтя и другихъ мутныхъ и вязкихъ жидкостей, а также для грязныхъ тинистыхъ водъ.

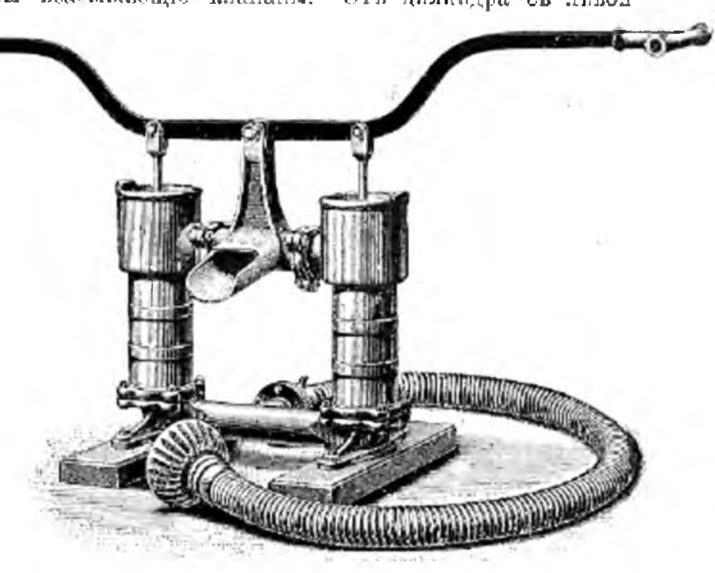
Это все конечно только основныя формы тѣхъ клапановъ, какіе устраиваются въ водяныхъ насосахъ. Въ большихъ производствахъ употребляются и другія весьма разнообразныя конструкціи. Таковы, напримѣръ, кольцевые клапаны, т.-е. цѣлый рядъ маленькихъ клапановъ, составляющихъ какъ бы одно кольцо. Болѣе сложная форма — это этажные клапаны, представляющіе изъ себя соединеніе нѣсколькихъ кольцевыхъ. Самое нижнее отверстіе запирается однимъ только шарикомъ, далѣе уже слѣдуетъ кольцеобразная заслонка нѣсколько большаго діаметра и т. д., конечно эта заслонка можетъ быть въ свою очередь замѣнена нѣсколькими клапанами, составляющими цѣлое кольцо. Существуютъ еще клапаны съ двумя гнѣздами, которыя располагаются одно подъ другимъ. Здѣсь давленіе паровъ или воды дѣйствуетъ такимъ образомъ, что, когда шарикъ закрываетъ одно изъ отверстій клапана, другое въ то же время открывается, причемъ давленіе съ обѣихъ сторонъ почти одинаково, благодаря чему этотъ такъ называемый двойной уравнительный клапанъ закрывается и открывается очень свободно, тогда какъ обыкновенный клапанъ достаточныхъ размѣровъ испытываетъ сильное одностороннее давленіе, вслѣдствіе чего открывается не сразу.



123 и 124. Коническій клапанъ. 125. Насосъ съ шаровыми клапанами.

При употребленіи всѣхъ описанныхъ нами конструкцій нагнетательныхъ насосовъ вода входитъ въ подъемную трубку только тогда, когда поршень опускается, вслѣдствіе чего она выливается прерывистой струей. Чтобы сдѣлать теченіе жидкости въ трубкѣ болѣе равномѣрнымъ, въ верхней ея части помѣщаютъ *резервуаръ съ сжатымъ воздухомъ*, который дѣйствуетъ какъ пружина: ослабляетъ нѣсколько давленіе, производимое на воду въ то время, когда она вталкивается въ трубку, и возвращаетъ это давленіе въ моментъ поднятія поршня. Такимъ образомъ вода въ резервуарѣ станетъ равномѣрно колыхаться, то поднимаясь, то опускаясь, слѣдя за движеніемъ поршня, и будетъ уже выходить ровной струей. Но, примѣняя такого рода регуляторъ, мы не достигаемъ еще равномѣрности дѣйствія прилагаемой силы: иначе при поднятіи и опусканіи поршня мы прилагаемъ не одинаковое усиліе. Чтобы устранить и этотъ недостатокъ, пользуются насосами двойного дѣйствія. Наиболѣе простая конструкція состоитъ въ томъ, что цилиндры двухъ насосовъ соединяются между собой, и, когда поршень одного изъ нихъ опускается, поршень другого поднимается. Обыкновенные всасывающіе насосы, употребляемые для выкачиванія воды

при постройкѣ домовъ, представляютъ обыкновенно такую конструкцію: вода въ оба цилиндра доставляется при помощи одной и той же кишки; вверху эти цилиндры также имѣютъ сообщеніе (выше поршней), такъ что и наружу вода выходитъ изъ того и другого цилиндра по одному желобу (рис. 126). Эти насосы довольно производительны: ими вообще можно пользоваться для отливки воды изъ фундаментныхъ рвовъ, колодцевъ и т. д. до 6—7 метровъ глубины. Совершенно такъ же конечно можно заставить совмѣстно работать два нагнотательныхъ насоса. Но въ этомъ случаѣ чаще всего помѣщаютъ цилиндры одинъ подъ другимъ, такъ что они имѣютъ общій поршневой стержень. Можно еще устроить насосъ двойного дѣйствія съ однимъ цилиндромъ; рис. 127 изображаетъ такую конструкцію. Труба, идущая къ водоему, развѣтвляется на два отростка (правая сторона рисунка); одинъ изъ нихъ входитъ въ верхнюю часть цилиндра, другой въ нижнюю; въ мѣстахъ входа укрѣплены всасывающіе клапаны. Отъ цилиндра съ лѣвой стороны также отходятъ два отростка къ водоподъемной трубѣ и точно такъ же доступъ въ нихъ прегражденъ двумя выводящими клапанами; кромѣ того водоподъемная трубка снабжена регуляторомъ. При поднятіи поршня черезъ нижній вводящій клапанъ вода будетъ поступать въ цилиндръ (подъ поршень); вмѣстѣ съ тѣмъ вода въ цилиндрѣ, выше поршня, откроетъ верхній выводящій клапанъ и начнетъ входить въ верхній отростокъ водоподъемной трубки, а оттуда въ резервуаръ регулятора; верхній вводящій и нижній выводящій клапаны закрыты. При обратномъ движеніи поршня тѣ клапаны, которые были прежде открыты, захлопнутся, верхній вводящій клапанъ откроется, и черезъ него вода будетъ набираться въ верхнюю часть цилиндра, а та вода, которую мы набрали въ цилиндръ, поднимая поршень, подчиняясь теперь производимому на нее давленію, откроетъ нижній выводящій клапанъ. Отъ верхняго резервуара отходитъ еще отростокъ водопроводной трубки, не обозначенный на рисункѣ.



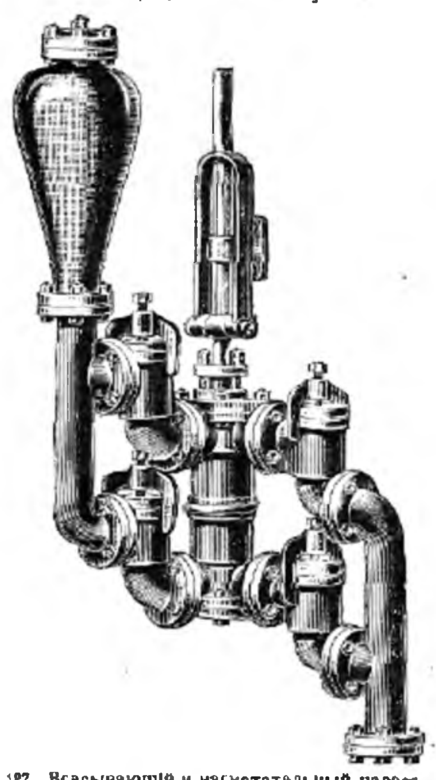
126. Насосъ двойного дѣйствія.

Какъ видно изъ прилагаемаго рисунка, клапаны водяного насоса имѣютъ самостоятельное устройство, и по большей части они только присоединяются къ общей оправѣ насоса; лишь въ самыхъ простыхъ домовыхъ, всасывающихъ насосахъ эти клапаны дѣлаются внутри цилиндра. Въ большихъ насосахъ самый большой цилиндръ помѣщается между двумя ящичками, заключающими въ себѣ вводящіе и выводящіе клапаны, сообщающіеся съ нимъ при помощи отдѣльныхъ соединеній.

Для того, чтобы насосъ хорошо дѣйствовалъ, слѣдуетъ больше всего обращать вниманіе на то, чтобы какъ самый поршень, такъ и клапаны представляли надежную закупорку отверстій; для этой цѣли дѣлаютъ, гдѣ слѣдуетъ, прокладку. На рисункѣ 128 представленъ поршень съ прокладкой

изъ кожи. Два кружка, вырѣзанные изъ особенно мягкой кожи, охватываютъ поршень въ родѣ манжетокъ, т.-е. середина ихъ зажата поршнемъ, а по краямъ они отогнуты. Мягкая, эластичная кожа плотно прилегаетъ къ стѣнкамъ цилиндра, такъ что благодаря такой прокладкѣ поршень почти не пропускаетъ воздуха. Не такъ хороша, но болѣе удобна прокладка изъ просаленной пеньки; поршни домовыхъ насосовъ почти исключительно дѣлаются именно съ такой прокладкой.

Бываютъ также поршни съ металлической прокладкой, въ формѣ эластичнаго кольца, вдвинутаго въ соотвѣтствующую выемку, но такіе поршни мало употребительны, потому что скоро стираются, исправить же ихъ не такъ легко, да и къ тому же они не имѣютъ никакого преимущества передъ поршнями съ кожаной прокладкой.

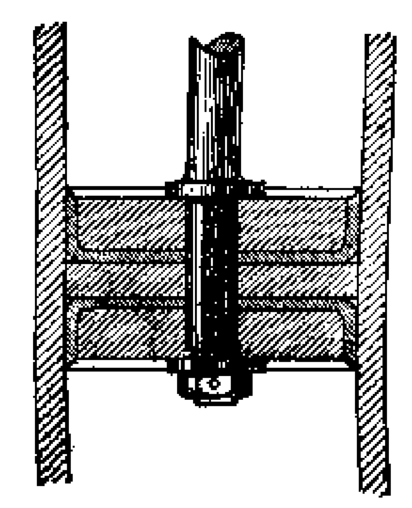


127. Всасывающій и нагнетательный насосъ двойного дѣйствія.

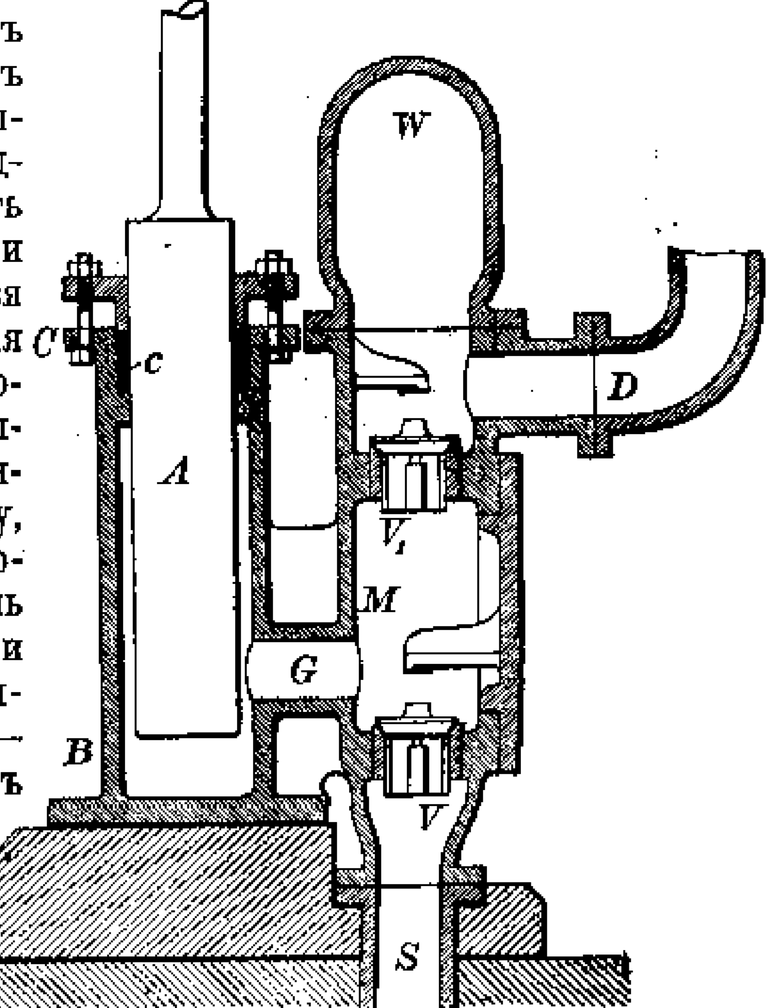
Гораздо выгоднѣе вмѣсто обыкновенныхъ поршней, въ формѣ не очень толстыхъ *кружковъ съ прокладкой*, употреблять сплошные такъ называемые **нырялъные** поршни, которые за послѣднее время получаютъ все большее распространеніе. Они имѣютъ видъ массивнаго, а иногда и полаго стерженька цилиндрической формы (ныряла), который ходитъ въ цилиндрѣ насоса, не примыкая къ его стѣнкамъ. Вверху цилиндра ныряло входитъ черезъ сальникъ, и кромѣ этого никакой прокладки нигдѣ нѣтъ. Очевидно, если воздухъ въ цилиндрѣ хорошо изолированъ отъ вліянія внѣшняго атмосфернаго давленія, то нѣтъ надобности, чтобы поршень примыкалъ къ стѣнкамъ цилиндра, такъ какъ при поднятіи его заключенный въ цилиндрѣ воздухъ разрѣжается, т.-е. какъ бы освобождается мѣсто для притока нѣкотораго количества воды, когда же поршень движется обратно, то воздухъ сгущается и выталкиваетъ набравшуюся въ цилиндръ воду. Одна изъ простѣйшихъ конструкцій насоса съ ныряльнымъ поршнемъ представлена на рисункѣ 129; рядомъ съ цилиндромъ находится коробка съ клапанами, особаго устройства. Ныряло A движется свободно въ цилиндрѣ B, не касаясь стѣнокъ. Вверху оно проходитъ черезъ сальникъ C, гдѣ должна быть помѣщена особенно тщательно изолирующая прокладка c. Посредствомъ широкой трубки G цилиндръ соединяется съ клапанами V и V_1, заключенными въ отдѣльную оправу M; S — трубка, идущая къ водоему, D — водоподъемная трубка, W — резервуаръ регулятора. Насосы описаннаго устройства, понятно, допускаютъ вполнѣ надежную изолировку цилиндра, такъ какъ коробка сальника находится наружу; въ случаѣ надобности ее всегда можно вынуть и какъ слѣдуетъ заправить. Внутренняя поверхность цилиндра не требуетъ вовсе шлифовки; она даже можетъ быть шероховатой, какъ есть, но ныряло должно быть хорошо шлифовано.

Дѣйствуя поршневымъ или ныральнымъ насосомъ, соотвѣтствующимъ давленіемъ можно, казалось бы, поднять воду на какую угодно высоту. На самомъ же дѣлѣ высота поднятія ограничена и находится въ зависимости отъ

прочности материала водоподъемной трубы, такъ какъ съ увеличеніемъ столба жидкости въ этой трубѣ увеличивается и давленіе, испытываемое стѣнками въ нижней ея части. Желѣзныя литыя трубы могутъ выдержать давленіе до 8—10 атмосферъ (на внутреннія стѣнки), что соотвѣтствуетъ столбу жидкости отъ 80—100 м. высоты. Если же высота поднятія должна быть больше, то дѣлаютъ водоподъемную трубу изъ особенно прочнаго матеріала и снаружи набиваютъ на нее обручи. Но все же прочность такихъ трубъ не безгранична. Даже самыя прочныя, стальныя, трубы не выдержали бы производимаго на нихъ давленія, если высота поднятія черезчуръ велика. Такъ что изъ глубокихъ шахтъ, въ которыхъ уровень воды лежитъ ниже 800 метровъ, ея нельзя выкачать сразу однимъ насосомъ, а приходится помѣщать нѣсколько, располагая ихъ одинъ за другимъ каскадомъ. Тогда стѣнки подъемныхъ трубокъ будутъ испытывать давленіе, соотвѣтствующее поднятію воды на слѣдующую ступень. Высота поднятія воды въ цилиндрѣ, какъ уже говорилось раньше, еще болѣе ограничена. Если уровень воды въ колодцѣ лежитъ на глубинѣ 8 метровъ отъ поверхности земли или еще ниже, то, помѣщая насосъ у основанія колодца, намъ не удастся достать изъ него воды. Въ такихъ случаяхъ слѣдуетъ помѣстить цилиндръ ниже, чтобы вода въ немъ поднималась на достаточную высоту. Такъ обыкновенно и поступаютъ при установкѣ шахтныхъ насосовъ. Въ прочемъ устройство ихъ ничѣмъ не отличается отъ другихъ насосовъ, но вслѣдствіе того, что ихъ приводится помѣщать на нѣкоторой глубинѣ, пользованіе ими не такъ просто, такъ какъ приходится устроивать особый приводъ для поднятія и опусканія поршня. Если глубина колодца не очень велика, достаточно бываетъ, опустивъ насколько нужно цилиндръ насоса, укрѣпить затѣмъ вверху, на штативѣ, отходящую отъ него водоподъемную трубу. Поршневой стержень продѣвается насквозь черезъ эту трубу и приводится въ движеніе съ помощью рычага. Но если глубина достигаетъ 15—18 м., какъ то нерѣдко бываетъ въ тѣхъ городахъ, гдѣ уровень грунтовыхъ водъ лежитъ очень низко, или когда снабжается водой замокъ, расположенный на высокихъ горныхъ утесахъ, то самый насосъ долженъ быть вдѣланъ въ срубъ шахты. На рисункѣ 130 изображенъ насосъ подобнаго устройства, который можетъ быть установленъ въ колодцѣ, гдѣ уровень воды находится на глубинѣ 24 м. отъ основанія. Здѣсь уже не такъ удобно пользоваться лишь однимъ рычагомъ для приведенія въ дѣйствіе поршневаго стержня, такъ какъ при каждомъ поднятіи поршня пришлось бы употреблять слишкомъ большое усиліе; вѣдь это все равно, что поднять сразу весь столбъ воды въ цилиндрѣ, считая отъ

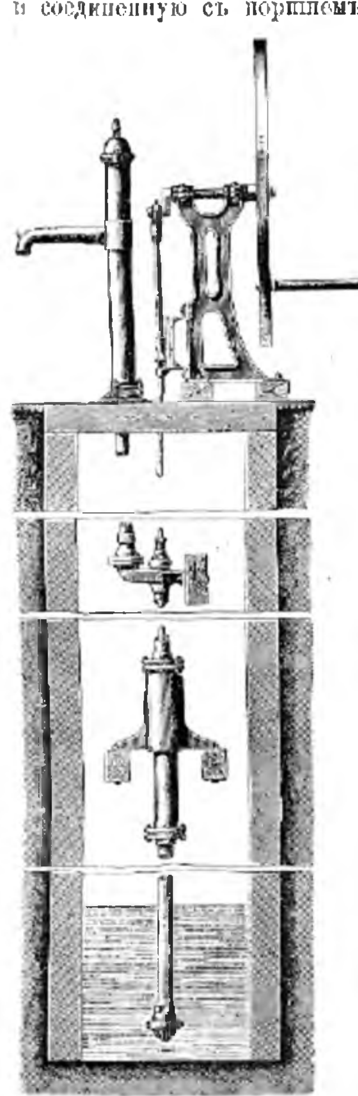


128. Поршень.



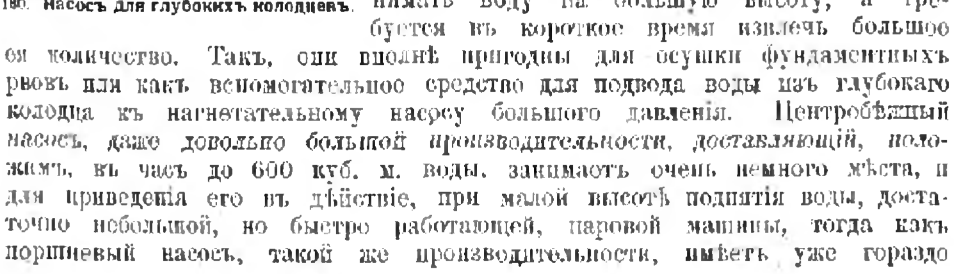
129. Насосъ съ сплошнымъ поршнемъ.

уровня ея въ колодцѣ на ту же высоту, на какую поднятъ поршень. Поэтому слѣдуетъ прибѣгнуть къ другимъ вспомогательнымъ приспособленіямъ. Въ приборѣ, изображенномъ на рисункѣ, это приспособленіе состоитъ изъ колеса съ ручкой, вращающагося около оси, сидящей въ желѣзной рогаткѣ. Вращая колесо, можно двигать вверхъ и внизъ штангу, опущенную въ шахту и соединенную съ поршнемъ. Насосъ помѣщенъ на балкѣ въ извѣстномъ разстояніи отъ уровня воды въ колодцѣ. Водоподъемная трубка снизу охватываетъ со всѣхъ сторонъ штангу, вверху отъ нея отходитъ колѣно къ водосточному лотку.



180. Насосъ для глубокихъ колодцевъ.

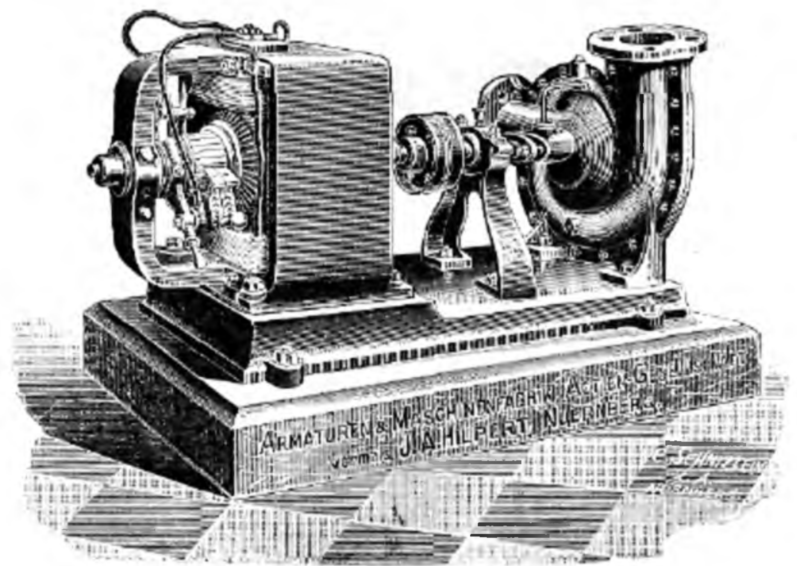
Для нѣкоторыхъ цѣлей поршневые насосы могутъ быть съ успѣхомъ замѣнены центробѣжными. Они представляютъ изъ себя круглую коробку литого желѣза. Въ этой коробкѣ вращается маховое колесо, которое почти касается боковыхъ стѣнокъ и внутренняго обвода коробки; ось колеса, которая является въ то же время центральною осью всей коробки, проходитъ черезъ ея боковыя стѣнки; для изолированія коробки отъ вліянія внѣшняго воздуха въ этихъ мѣстахъ помѣщаются сальники. Вода входитъ въ сосудъ по осевому направленію иногда съ обѣихъ сторонъ, иногда только съ одной; для выхода же ея устроена небольшая трубочка, помѣщенная въ направленіи тангенціальномъ относительно обвода. Если привести приборъ въ быстрое вращеніе, то вода, входя по осевому направленію, будетъ тотчасъ оттѣснена къ стѣнкамъ сосуда и получитъ стремленіе выйти изъ него именно въ тангенціальномъ направленіи. У центробѣжныхъ насосовъ вовсе нѣтъ никакихъ клапановъ; они очень просто устанавливаются, легко приводятся въ дѣйствіе, но требуютъ за собой большого ухода и при всемъ томъ обладаютъ большой производительностью, но только если требуется поднять воду на небольшую сравнительно высоту, такъ до 8 метровъ. Въ трубкѣ, идущей къ водоему, высота поднятія не должна превосходить 4 м. При болѣе высокомъ поднятіи, полезное дѣйствіе насоса становится уже значительно меньше. Вотъ поэтому-то центробѣжные насосы слѣдуетъ употреблять для тѣхъ работъ, гдѣ нѣтъ необходимости поднимать воду на большую высоту, а требуется въ короткое время извлечь большое



ея количество. Такъ, они вполнѣ пригодны для осушки фундаментныхъ рвовъ или какъ вспомогательное средство для подвода воды изъ глубокаго колодца къ нагнетательному насосу большого давленія. Центробѣжный *насосъ, даже довольно большой производительности, доставляющій, положимъ,* въ часъ до 600 куб. м. воды, занимаетъ очень немного мѣста, и для приведенія его въ дѣйствіе, при малой высотѣ поднятія воды, достаточно небольшой, но быстро работающей, паровой машины, тогда какъ поршневый насосъ, такой же производительности, имѣетъ уже гораздо

большие размѣры, требуетъ постановки на прочномъ фундаментѣ и стоитъ гораздо дороже. Такъ какъ центробѣжные насосы должны вращаться очень быстро, число оборотовъ въ минуту доходитъ до 2000, то для приведенія ихъ въ дѣйствіе вполнѣ цѣлесообразно воспользоваться электродвигателями; самый насосъ можно установить на томъ же основаніи и соединить его ось со шкивомъ двигателя (рис. 131).

Центробѣжный насосъ не можетъ самъ всосать въ себя воду, такъ что еще до приведенія его въ дѣйствіе самую коробку и подводящую трубку слѣдуетъ наполнить водой. Этого можно достигнуть двумя способами: во-первыхъ, выкачивая воздухъ изъ насоса, для чего вверху находится трубочка съ винтовой нарѣзкой; при помощи ея онъ соединяется съ эжекторомъ (воздушнымъ насосомъ), устройство котораго будетъ описано далѣе; тогда вода станетъ входить въ насосъ по вводящей трубкѣ; во-вторыхъ,



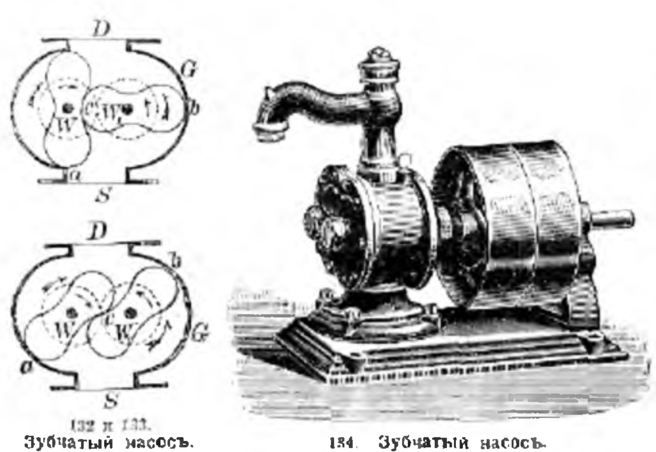
131. Центробѣжный насосъ съ электродвигателемъ.

просто вливая въ него воду; въ этомъ случаѣ вводящая трубка должна закрываться клапаномъ, иначе вода будетъ изъ нея вытекать; впрочемъ, всѣ почти насосы снабжены такими клапанами. Такъ какъ центробѣжный насосъ можетъ вовсе не имѣть клапановъ, то его съ удобствомъ примѣняютъ для выкачиванія грязной воды, смѣшанной съ пескомъ и тиной, въ чемъ можетъ явиться надобность при прорытіи каналовъ и возведеніи фундаментовъ.

Для выкачиванія воды изъ глубокихъ колодцевъ употребляются еще насосы нѣсколько иного устройства. Коробка прикрѣпляется къ нижнему концу трубки, опущенной въ воду. Въ этой коробкѣ вращается около вертикальной оси валъ съ лопаточками, расположенными по винтовой линіи. Вращая этотъ валъ, мы заставимъ воду подниматься вверхъ по водоподъемной трубѣ.

Одинъ изъ видовъ вращающихся насосовъ представляютъ изъ себя насосы съ зубчаткой. Въ металлической коробкѣ G вращаются въ различномъ направленіи два одинаковой формы тѣла W и W^1. Оси ихъ продѣваются черезъ боковыя стѣнки коробки и въ отверстіяхъ стѣнокъ окружаются прокладкой, не пропускающей воздуха. Оба тѣла, въ какомъ бы они ни находились положеніи, плотно примыкаютъ другъ къ другу и къ стѣнкамъ коробки (см. рис. 132 и 133). Въ томъ положеніи, которому соотвѣтствуетъ

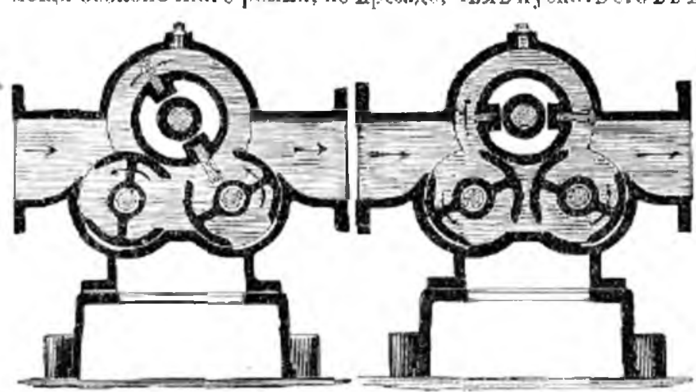
нижній чертежъ, вода, поднявшись по трубкѣ S, поступаетъ въ пространство, ограниченное поверхностями вращающихся тѣлъ и внутренней стѣнки коробки. Отсюда она по стѣнкѣ будетъ направляться къ трубкѣ D; при этомъ трубки S и D всегда будутъ разобщены другъ отъ друга, потому что, какъ сказано, вращающіяся тѣла въ точкѣ c плотно пристаютъ одно къ другому, а въ точкахъ a и b къ стѣнкамъ коробки. Продолжая вращаться, тѣла наконецъ придутъ въ положеніе, *соотвѣтствующее* верхнему чертежу; тогда часть вошедшей воды будетъ заключена въ замкнутое пространство, окруженное стѣнкой цилиндра и частью повехности тѣла W; тотчасъ вслѣдъ затѣмъ вода эта будетъ проталкиваться въ трубку D, между тѣмъ какъ изъ трубки S будетъ поступать новый запасъ воды; она будетъ направляться въ уголъ, отдѣляемый поверхностью тѣла W и правой стѣнкой коробки. Такимъ образомъ, не ставя на пути никакихъ клапановъ, можно заставить воду все время подниматься вверхъ. Внѣшній видъ прибора изображенъ на рисункѣ 134. Для того, чтобы привести насосъ во вращеніе, употребляется передача при помощи безконечнаго ремня, но прежде, чѣмъ пускать его въ ходъ, слѣдуетъ коробку наполнить водой.



132 и 133. Зубчатый насосъ.

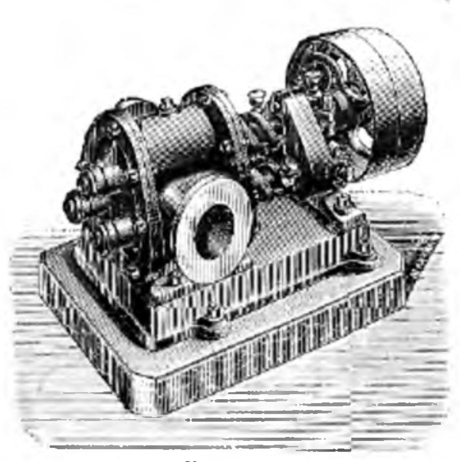
134. Зубчатый насосъ.

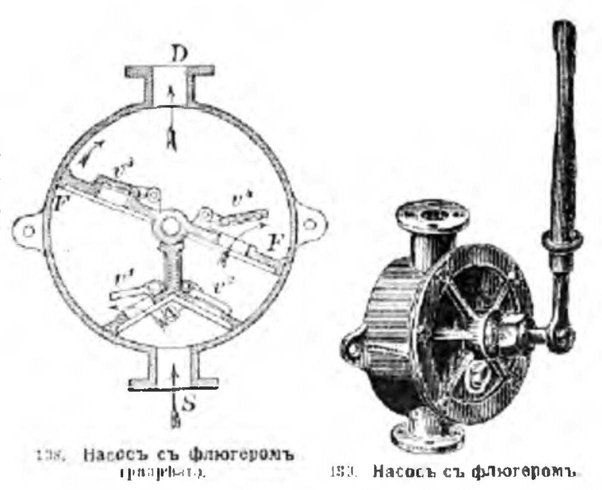
Тотъ же принципъ положенъ въ устройство насоса съ валиками системы Клейна (Клейнъ, Шанцлинъ и Беккеръ, Пфальцъ, Франкенталь), который имѣетъ большія преимущества передъ другими вращающимися насосами. Дѣйствіе его объясняется рисунками 135 и 136, представляющими схему прибора въ поперечномъ разрѣзѣ въ двухъ послѣдовательныхъ фазахъ его дѣйствія. Вода входитъ съ лѣвой стороны, а выходитъ съ правой. Верхній валикъ дѣйствіемъ внѣшней силы приводится во вращеніе, въ направленіи, указанномъ стрѣлками (какъ видно изъ рисунка 135); вращеніе ему можетъ быть передано при помощи безконечнаго ремня. По обводу этого вала въ двухъ діаметрально противоположныхъ направленіяхъ прикрѣплены двѣ лопаточки, которыя при вращеніи его все время плотно примыкаютъ къ верхней нишѣ оправы. Нижніе валы имѣютъ тотъ же діаметръ, что и верхній, вращеніе же ихъ будетъ происходить въ обратномъ направленіи (относительно верхняго вала), какъ это указано стрѣлками. Всѣ три вала въ тѣхъ



135 и 136. Насосъ Клейна съ валиками (Поперечный разрѣзъ)

мѣстахъ, гдѣ они проходятъ черезъ боковыя стѣнки коробки, окружаются прокладкой, не пропускающей воздуха. Нижніе валы плотно примыкаютъ къ верхнему, только въ двухъ мѣстахъ сдѣланы выемки, въ которыя могутъ входить лопаточки верхняго вала. При всевозможныхъ относительныхъ положеніяхъ трехъ валовъ правая часть коробки разобщена отъ лѣвой: вверху преградой служитъ крыло верхняго вала, внизу и въ средней части тотъ или другой изъ нижнихъ валовъ, такъ какъ одинъ изъ нихъ всегда касается верхняго вала, а другой нижней ниши оправы. Разсмотримъ подробнѣе, что происходитъ при движеніи этихъ валовъ. Назовемъ верхній валъ I, нижній лѣвый II и нижній правый III. Въ положеніи, указанномъ на рисункѣ, верхняя лопаточка толкаетъ воду слѣва направо къ выводному протоку, II валъ закрываетъ проходъ между нимъ и первымъ валомъ, III же валъ преграждаетъ путь черезъ нижній проходъ. Одна лопатка верхняго вала какъ разъ вошла въ выемку III вала. Вслѣдъ затѣмъ лопатка эта станетъ между двумя нижними валами, которые съ той и другой стороны подойдутъ вплотную къ верхнему I валу, причемъ второй валъ закроетъ нижній проходъ. При дальнѣйшемъ движеніи механизма лопатка войдетъ въ выемку II вала, и отдѣльныя части расположатся обратно тому, какъ изображено на рисункѣ 135 (что было справа, то теперь слѣва). За все это время верхняя лопатка толкаетъ воду слѣва направо, заставляя ее подыматься вверхъ; когда же эта лопатка выйдетъ изъ ниши, другая, противоположная ей, ставшая теперь въ ея первоначальное положеніе, повторитъ всѣ тѣ же дѣйствія (рис. 136). Такъ какъ всѣ три вала совершаютъ самостоятельныя движенія съ одной и той же угловой скоростью и только лишь касаются другъ друга, то потеря энергіи вслѣдствіе тренія незначительна. Благодаря тому, что въ этихъ насосахъ нѣтъ клапановъ, онѣ также имѣютъ примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ приходится имѣть дѣло съ грязной, тинистой или вязкой жидкостью.


137. Насосъ Клейна.

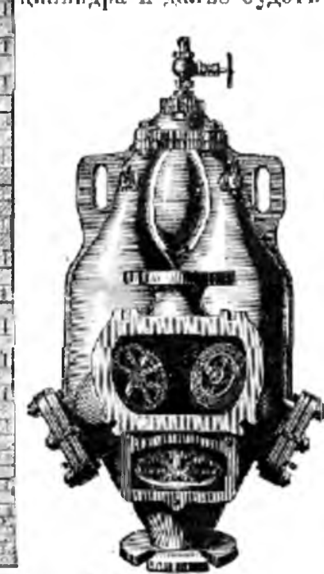


138. Насосъ съ флюгеромъ (разрѣзъ).
139. Насосъ съ флюгеромъ.

За послѣднее время сильно пропагандируются **насосы съ флюгеромъ**, наиболѣе часто употребляемые для нуждъ домашняго обихода, какъ-то: для купаленъ, конюшенъ, садовъ, а также для наполненія или опоражниванія винныхъ и пивныхъ бочекъ, бочекъ для керосина и т. п. Для объясненія дѣйствія прибора онъ представленъ на рисункѣ 138 въ схематическомъ разрѣзѣ; рисунокъ же 139 изображаетъ его внѣшній видъ. Онъ представляетъ

изъ себя плоскій, цилиндрической формы сосудъ изъ желѣза или другого металла; вверху и внизу отъ этого сосуда отходятъ два штуцера, къ которымъ *привинчиваются* двѣ трубки для впуска и подъема воды на высоту. Въ нижнемъ штуцерѣ поставлены два створчатыхъ клапана V^1 и V^2, открывающіеся вверхъ. Черезъ стѣнки прибора проходитъ ось съ соотвѣтствующей прокладкой для изолированія внутренняго объема цилиндра отъ вліянія внѣшняго воздуха; на эту ось насаженъ флюгеръ, совершающій колебанія попеременно то въ ту, то въ другую сторону, для чего ось соединяется съ шатуномъ; флюгеръ плотно примыкаетъ къ внутреннимъ стѣнкамъ цилиндра. По обѣимъ сторонамъ его также устроены два (выводящихъ) клапана V^3 и V^4. Теперь вполнѣ ясно, какимъ образомъ дѣйствуетъ приборъ. V^1 и V^2—это вводящіе клапаны, V^3 и V^4—выводящіе. При движеніи флюгера слѣва направо (какъ указано на рисункѣ) вода будетъ входить въ цилиндръ изъ штуцера S черезъ лѣвый клапанъ V^1, въ то же время съ правой стороны она будетъ выталкиваться черезъ клапанъ V^4 въ верхнюю часть цилиндра и далѣе будетъ направляться къ штуцеру D; при обратномъ движеніи флюгера въ противную сторону откроется вводящій клапанъ V^2 и выводящій V^3, тогда какъ клапаны V^1 и V^4 будутъ закрыты. Слѣдовательно флюгерный насосъ представляетъ *изъ себя насосъ двойного* дѣйствія. Высота поднятія воды по вводящей трубкѣ достигаетъ 7—7½ м., какъ и въ поршневыхъ насосахъ. По водоподъемной же трубѣ воду можно поднять до желаемой высоты, ограничиваемой только прочностью стѣнокъ и изолировки. Если насосъ приходится употреблять для вязкихъ и несовсѣмъ чистыхъ жидкостей, то вмѣсто створчатыхъ ставятъ шаровые клапаны. Если такой насосъ снабженъ регуляторомъ съ сжатымъ воздухомъ, то онъ является вполнѣ пригоднымъ для поливки садовъ или извлеченія воды изъ глубокихъ колодцевъ (см. рис. 140). Еще одинъ изъ видовъ водоподъемныхъ снарядовъ, гидравлическій таранъ, былъ уже ранѣе описанъ.

140. Флюгерный насосъ для глубокихъ колодцевъ.



141. Пульзометръ.

Въ третьей части этого тома въ связи съ исторіей изобрѣтенія паровой машины, будутъ описаны первоначальныя попытки воспользоваться обращеніемъ воды въ парообразное состояніе для непосредственнаго поднятія ея на высоту, которыя, можно сказать, привели къ созданію паровой машины. Здѣсь мы упомянемъ только въ краткой выдержкѣ о „наичудеснѣйшемъ изобрѣтеніи“ лорда Ворчестера, которое было имъ обнародовано въ 1663 году въ очень напыщенномъ сочиненіи (см. Рело (Reuleaux), „Исторія паровой машины“). Онъ между прочимъ говоритъ: „Для насъ представляется весьма неожиданной и вмѣстѣ очень драгоцѣнной возможность привести въ движеніе воду, дѣйствуя на нее огнемъ, такъ какъ здѣсь дѣло идетъ не о томъ, чтобы

всасываніемъ заставить ее подниматься на извѣстную высоту, что, какъ скажетъ естествоиспытатель, находится intra sphaeram activitatis, т.-е. ограничено нѣкоторымъ предѣломъ (вѣроятно подъ этимъ онъ подразумѣвалъ максимальное поднятіе воды въ употребляемыхъ тогда всасывающихъ насосахъ). Нѣтъ, эта возможность уничтожаетъ всякія границы для высоты поднятія, если только сосудъ достаточно проченъ. Я самъ видалъ, какъ вода бьетъ струей на высотѣ 40 футовъ. Огонь разрѣжаетъ и поднимаетъ холодную воду въ сосудѣ на 40 (надо понимать въ томъ смыслѣ, что вода занимаетъ въ 40 разъ большій объемъ). Нужно только поставить человѣка, который открывалъ бы кранъ заготовленнаго ранѣе сосуда, когда первый окажется уже опорожненнымъ, а затѣмъ снова этотъ первый сосудъ наполнялъ холодной водой и т. д. Тотъ же человѣкъ долженъ заботиться о томъ, чтобы въ очагѣ всегда былъ огонь". Конечно изъ этого описанія нельзя себѣ составить представленія о паровомъ насосѣ, и можно даже усомниться, чтобы ученый лордъ самъ когда-либо употреблялъ или даже видѣлъ насосъ подобнаго устройства. Какъ бы то ни было, лорда Ворчестера нельзя признать изобрѣтателемъ перваго самодѣйствующаго парового насоса, чего хотѣли добиться его соотечественники.

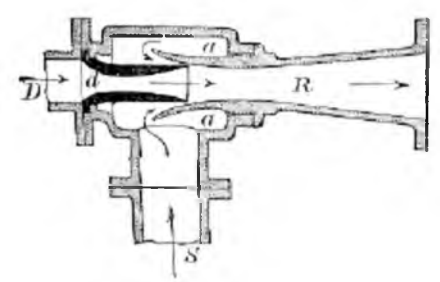
Первый дѣйствующій паромъ водоподъемный снарядъ былъ изобрѣтенъ англичаниномъ Томасомъ Савери въ 1698 году. Рисунокъ и подробное описаніе этого прибора можно найти въ третьей части, въ отдѣлѣ, посвященномъ паровымъ машинамъ. Этотъ приборъ, далеко не совершеннаго устройства, по принципу его дѣйствія можно разсматривать, какъ прототипъ пульзометра, т.-е. самодѣйствующаго парового насоса, который за послѣднія десятилѣтія примѣняется въ самыхъ разнообразныхъ случаяхъ. Пульзометръ изобрѣтенъ въ 1872 году американцемъ Генри Холлемъ. Особенность дѣйствія прибора заключается въ томъ, что сжатый паръ вводится попеременно въ двѣ смежныя камеры; эти камеры съ одной стороны при помощи клапановъ сообщаются съ трубкой, вводящей воду, съ другой стороны съ общей боковой камерой, отъ которой отходитъ водоподъемная труба. Когда поступающій паръ выгоняетъ воду изъ одного отдѣленія въ боковую камеру, въ то же время паръ, оставшійся въ смежной камерѣ, сгущается, и надъ нимъ образуется пустота, вслѣдствіе чего изъ водоема будетъ входить новое количество воды. Какъ только изъ первой камеры вода будетъ окончательно вытѣснена, клапанъ, черезъ который входитъ паръ, самъ собой перекинется и откроетъ ему доступъ въ смежную камеру; вода, набравшаяся въ эту камеру, станетъ подъ давленіемъ пара входить въ боковую, тогда какъ смежная камера, вслѣдствіе сгущенія оставшагося пара снова будетъ наполняться. Во многихъ случаяхъ пульзометру приходится отдать преимущество передъ другими приборами, такъ какъ, кромѣ клапановъ, онъ никакихъ другихъ подвижныхъ частей не имѣетъ. Онъ приводится въ дѣйствіе безъ помощи какого-либо двигателя, такъ что, имѣя только переносный паровой котелъ, можно установить его гдѣ угодно. Надо сознаться, онъ не такъ экономиченъ, какъ хорошіе поршневые насосы, но все же является какъ нельзя болѣе подходящимъ въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется простое и дешевое устройство водоподъемной машины. Напр. для выкачиванія воды изъ фундаментныхъ рвовъ, люковъ и корабельныхъ доковъ; при углубленіи шахтъ и колодцевъ, какъ запасной снарядъ на случай порчи главной водоподъемной машины, что нерѣдко бываетъ при работахъ въ горахъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ можно поступиться главнымъ недостаткомъ этого прибора (неэкономичностью), въ виду явныхъ его преимуществъ въ остальномъ. Пульзометръ можетъ быть прикрѣпленъ къ стѣнѣ или повѣшенъ на цѣпи; достаточно только привести его въ дѣйствіе, далѣе онъ будетъ уже работать самостоятельно, пока не выкачаетъ всю воду; ухода большого за собой онъ не требуетъ, потому что здѣсь

не нужно, какъ въ поршневыхъ насосахъ, дѣлать смазку сальника и ложа. Онъ всасываетъ воду на высоту 8 метровъ и можетъ заставить ее подняться (въ водоподъемной трубѣ) до 80 метровъ. На рис. 141 представленъ пульзометръ системы Нейгауза. Вверху находится кранъ для впуска пара; внизу отростокъ трубки, подводящей воду; спереди крышка коробки съ клапанами снята, такъ что видны главный вводящій клапанъ (выше него находятся еще два отдѣльныхъ клапана, дающіе доступъ въ двѣ смежныя камеры, но онѣ закрыты оправой) и два выводящихъ клапана, при помощи которыхъ смежныя камеры сообщаются съ боковой; на верхнюю стѣнку боковой камеры насаженъ соединительный фланецъ, къ которому привинчивается водоподъемная труба. Рис. 142 представляетъ пульзометръ съ подвижнымъ паровымъ котломъ для осушки фундаментныхъ рвовъ.


142. Примѣненіе пульзометра.

Наконецъ есть еще родъ насосовъ, получающій за послѣднее время все большее и большее распространеніе въ техникѣ, опять-таки потому, что для многихъ цѣлей онъ *оказывается болѣе подходящимъ*, чѣмъ другіе. Это пульверизаціонные насосы. Мы остановимся подробнѣе на описаніи приборовъ этого рода, такъ какъ они еще не пользуются повсемѣстной извѣстностью. По тому способу, какимъ они приводятся въ дѣйствіе, ихъ можно разбить на двѣ основныя группы: паровые и водяные пульверизаціонные насосы, но кромѣ нихъ существуютъ еще насосы, приводимые въ дѣйствіе *сжатымъ воздухомъ*.

Въ основѣ устройства лежитъ одинъ и тотъ же принципъ, для уясненія котораго приведенъ схематическій рисунокъ 143. Къ коробкѣ a снизу прикрѣпленъ штутцеръ, соединяемый съ вводящей воду трубкой S; слѣва черезъ штутцеръ D входитъ подъ давленіемъ вода или сжатый паръ, посредствомъ чего приборъ приводится въ дѣйствіе; справа коробка при помощи раструба R соединяется съ водоподъемной трубой; отъ узкой части раструба отходитъ сопло, которое въ свою очередь довольно плотно пристаетъ къ штутцеру D, такъ что между ними остается лишь узенькій кольцеобразный просвѣтъ. Паръ или вода подъ давленіемъ съ большой быстротой проходитъ черезъ сопло въ раструбъ R, причемъ въ своемъ движеніи онъ увлекаетъ воздухъ, проникающій въ сопло черезъ кольцеобразный просвѣтъ; такимъ обра-



143. Пульверизаціонный насосъ.

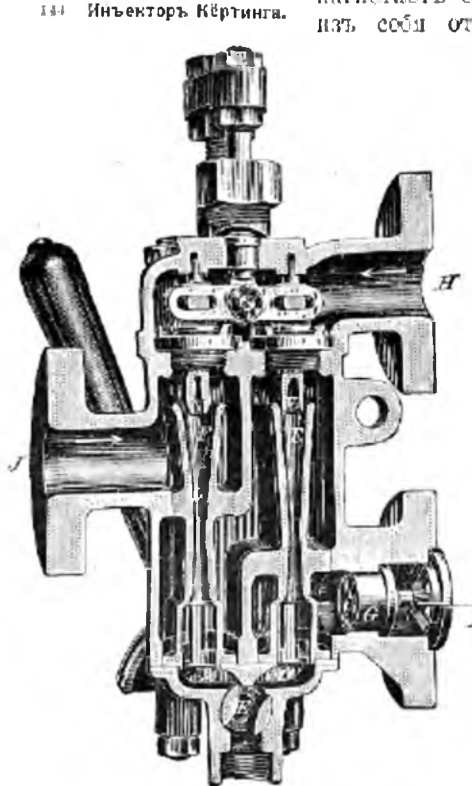
ѳомъ въ коробкѣ *аа* образуется разрѣженіе, вслѣдствіе чего вода изъ водоподъема станетъ подниматься по трубкѣ, заполнитъ коробку и, слѣдуя общему теченію, пройдетъ въ водоподъемную трубку. Весь процессъ идетъ за счетъ траты живой силы, постоянно притекающаго вновь пара, такъ что вода будетъ непрерывно подниматься вверхъ. Высота поднятія и количество доставляемой воды зависятъ отъ давленія и количества пара или воды, совершающей работу. Если вся энергія идетъ цѣликомъ на производство этого процесса, то количество использованной жидкости, умноженное на высоту, соотвѣтствующую производимому давленію, = количеству поднятой изъ водоема воды, умноженному на высоту этого поднятія + то же ея количество, да еще количество воды, использованной во время работы поднятія на высоту поднятія въ водоподъемной трубѣ. Изъ всего количества энергіи, которой обладаетъ вода, идущая на работу поднятія, съ пользой тратится только часть ея, такъ что при вычисленіи полезной работы слѣдуетъ принять въ разсмотрѣніе разность между высотой, соотвѣтствующей производимому давленію, и высотой поднятія жидкости въ водоподъемной трубѣ. Высказанное ранѣе можно повторить въ такой формулировкѣ: количество использованной жидкости, умноженное на высоту, соотвѣтствующую производимому ей давленію (высота поднятія ея въ водоподъемной трубѣ), = количеству жидкости, взятой изъ водоема, умноженному на всю высоту поднятія (считая отъ уровня водоема до уровня воды въ водоподъемной трубѣ). На самомъ дѣлѣ производительность этого снаряда еще менѣе, и она зависитъ отъ отношенія величины давленія, подъ которымъ идетъ вода, къ высотѣ уровня, до котораго требуется ее поднять. При высокомъ давленіи полезное дѣйствіе больше, но, вообще говоря, оно всегда меньше, чѣмъ у поршневыхъ насосовъ. Дѣйствуя давленіемъ пара, можно заставить воду подняться выше, нежели производя то же давленіе при посредствѣ воды. Такъ, паръ, упругость котораго 6 атмосферъ (что соотвѣтствуетъ давленію столба воды, высотою въ 60 м.), можетъ заставить воду подняться до 70 м. высоты. Это на первый взглядъ какъ-будто противорѣчитъ закону сохраненія энергіи, но на самомъ дѣлѣ это противорѣчіе только кажущееся. Дѣло въ томъ, что вода на производство работы затрачиваетъ живую силу, пріобрѣтенную ею за время паденія съ начальнаго уровня, и только этотъ источникъ энергіи слѣдуетъ принять въ разсмотрѣніе для объясненія производимаго дѣйствія, тогда какъ сжатый паръ можетъ, помимо того, въ моментъ выхода изъ сопла выдѣлить большое количество энергіи, отдавая свою скрытую теплоту. Часть этой теплоты тратится съ пользой на работу поднятія воды, часть же ея идетъ на нагрѣваніе образовавшейся изъ сгустившагося пара жидкости.

Пульверизаціонные насосы имѣютъ большое преимущество передъ поршневыми и вращающимися насосами, такъ какъ не имѣютъ никакихъ клапановъ, никакихъ подвижныхъ частей, не требуютъ постановки сальниковъ или другой какой-либо прокладки, вслѣдствіе чего они не скоро портятся и не нуждаются въ починкѣ. Во всякій данный моментъ они готовы къ употребленію, даже если бы передъ тѣмъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ ими совсѣмъ не пользовались. Достаточно впустить паръ или воду подъ давленіемъ, и насосъ сейчасъ же начнетъ работать. Поэтому они болѣе другихъ пригодны, какъ запасные насосы, въ тѣхъ производствахъ, гдѣ для постоянной работы употребляются экономичные поршневые насосы, какъ напримѣръ въ горномъ промыслѣ. Вслѣдствіе простоты установки и ухода за ними, а также вслѣдствіе своей дешевизны употребленіе ихъ вполнѣ умѣстно въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется удалить воду лишь на короткое время, для осушки фундаментныхъ рвовъ, погребовъ, углубленія шахтъ и т. п. Здѣсь передъ удобствомъ такихъ насосовъ экономичность дѣйствія отходитъ на

второй планъ. Наиболѣе извѣстный и съ давнихъ поръ получившій повсемѣстное распространеніе видъ пульверизаціонныхъ насосовъ представляетъ изъ себя инъекторъ — приборъ, служащій главнымъ образомъ для наполненія водой паровыхъ котловъ; за послѣднее время онъ вытѣснилъ изъ употребленія всѣ насосы, примѣнявшіеся ранѣе для этой цѣли. Почти всѣ локомотивы запасаются водой съ помощью инъектора. На станціяхъ, гдѣ работаютъ паровыя машины, также пользуются инъекторомъ, какъ главнымъ или запаснымъ насосомъ.

144. Инъекторъ Кёртинга.

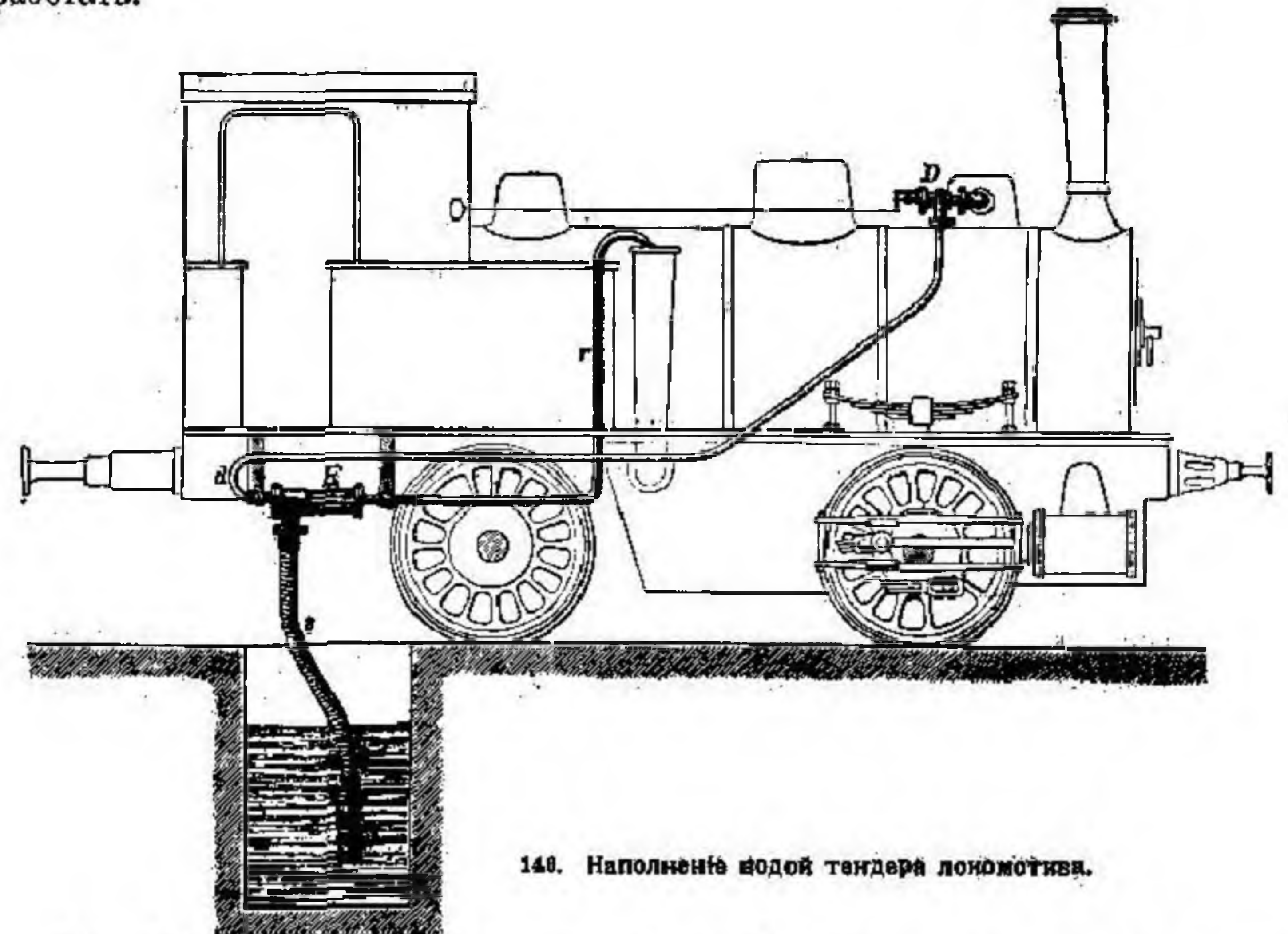
Рис. 144 и 145 представляютъ паровой инъекторъ, предназначенный для наполненія паровыхъ котловъ, лучшей конструкціи, братьевъ Кёртингъ въ Ганноверѣ; братья Кёртингъ вообще не мало приложили стараній къ выработкѣ образцовыхъ пульверизаціонныхъ приборовъ самаго разнообразнаго назначенія. Представленный здѣсь **универсальный инъекторъ** составленъ изъ двухъ инъекторовъ, изъ которыхъ первый набираетъ въ себя воду и подъ небольшимъ давленіемъ передаетъ ее второму; тотъ же нагнетаетъ ее въ паровой котелъ. J представляетъ изъ себя отростокъ вводящей трубки, GK клапанъ для впуска воды въ котелъ. Черезъ трубку H входитъ паръ; сначала посредствомъ рычага, который виденъ спереди на рисункѣ, представляющемъ внѣшній видъ прибора, его пропускаютъ черезъ сопло V, вслѣдствіе чего вода по трубкѣ S станетъ входить въ лѣвую коробку насоса и затѣмъ, пройдя черезъ раструбъ F, попадетъ въ каналъ M, откуда и будетъ въ теченіе нѣкотораго времени вытекать наружу. Затѣмъ, при дальнѣйшемъ медленномъ движеніи рычага, клапанъ E закроетъ каналъ, и вода направится черезъ боковое отверстіе раструба въ правую коробку, заполнитъ ее, войдетъ въ раструбъ F_1 и будетъ нѣкоторое время вытекать черезъ каналъ M_1; тогда клапанъ E окончательно закроетъ оба канала, и одновременно пару будетъ данъ доступъ въ сопло V_1, вслѣдствіе чего вода станетъ непрерывно поступать въ котелъ. Инъекторы первоначальной конструкціи обладали многими недостатками: нерѣдко отказывались служить, не всасывали воду, особенно если вода была теплая, но въ новой конструкціи устранены эти недостатки,



145. Инъекторъ Кертинга (разрѣзъ).

такъ что снаряды только-что описаннаго устройства работаютъ аккуратно и вполнѣ равномѣрно, не боясь холодной воды. Это послѣднее свойство представляется особенно важнымъ при употребленіи инъектора для паровыхъ котловъ, *такъ какъ, если пьется уже теплая вода, образовавшаяся напримѣръ изъ пара,* то является большая экономія въ топливѣ. Кертинговскіе

инъекторы всасываютъ холодную воду съ глубины до 6 м. и могутъ доставить наверхъ (но не могутъ всасывать) теплую воду, температура которой достигаетъ даже 60°. Паръ способствуетъ нагрѣванію воды въ коробкѣ инъектора, и это не влечетъ за собой безполезной траты энергіи, если инъекторами пользуются для паровыхъ котловъ (что было бы въ случаѣ другого рода примѣненія), такъ какъ нагрѣваніе сберегаетъ топливо. Въ виду этого инъекторы, спеціально назначаемые для названной цѣли, не только ничѣмъ не уступаютъ другимъ насосамъ, но даже превосходятъ ихъ экономичностью, потому что здѣсь ни тепловая, ни другой какой-либо формы энергія безполезно почти не расходуется. Кромѣ того они хороши тѣмъ, что обращеніе съ ними крайнѣ несложно; для нихъ не нужно много мѣста; ихъ можно гдѣ угодно поставить и во всякое время пустить въ дѣло, если во время случайныхъ остановокъ главной машины другіе насосы не будутъ работать.

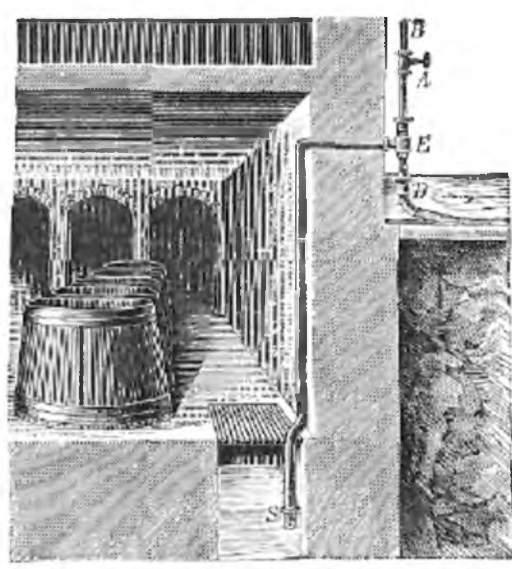


146. Наполненіе водой тендера локомотива.

Рис. 146 изображаетъ наполненіе водой тендера локомотива съ помощью парового инъектора, нагнетающаго воду изъ колодца: E — инъекторъ съ трубой для впуска пара Dd, s — вводящая трубка, S — коробка съ сѣткой, r — водоподъемная трубка, по которой вода нагнетается въ бакъ. На рисункѣ 147 представлено примѣненіе парового пульверизаціоннаго насоса для осушенія погребовъ. Паръ впускаютъ черезъ трубку B съ краномъ A. E — инъекторъ, S — вводящая трубка, D — трубка, черезъ которую вода вытекаетъ наружу.

Упомянутыя выше преимущества пульверизаціонныхъ насосовъ дѣлаютъ ихъ особенно драгоцѣнными при примѣненіи въ качествѣ корабельныхъ насосовъ для отливки воды изъ трюмовъ и люковъ. Здѣсь, гдѣ паръ всегда подъ рукой, особенно важно имѣть такой удобный и простой снарядъ, немного занимающій мѣста и всегда готовый къ употребленію; тутъ онъ какъ нельзя болѣе соотвѣтствуетъ своему назначенію. Можно быть вполнѣ увѣреннымъ, что онъ не откажется работать, даже если бы имъ подолгу не пользовались и оставляли его безъ всякаго вниманія.

Все сказанное о паровыхъ пульверизаціонныхъ насосахъ одинаково относится и къ водянымъ насосамъ того же устройства, или, какъ ихъ называютъ, къ **водянымъ пульверизаціоннымъ элеваторамъ**. Какъ первые удобно ставить тамъ, гдѣ имѣется подъ рукой сжатый паръ, т.-е. почти во всѣхъ большихъ промышленныхъ производствахъ, такъ точно и эти насосы нуждаются въ томъ, чтобы вблизи находился источникъ, доставляющій воду подъ нѣкоторымъ давленіемъ. Приборъ, изображенный на рисункѣ 147, будетъ работать ничуть не хуже, если приводъ для впуска пара замѣнить соединеніемъ съ водопроводнымъ краномъ.



147. Выкачиваніе воды изъ погреба.

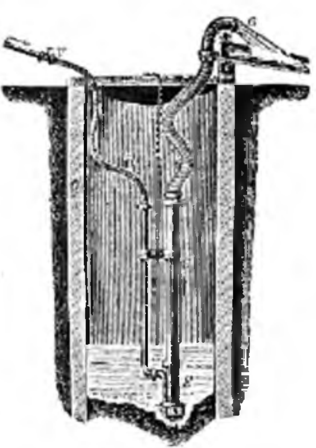
На рис. 148 представлено осушеніе фундаментнаго рва при помощи элеватора, соединеннаго съ гидрантомъ городского водопровода. *E* — это пульверизаціонный аппаратъ, *D* — трубка съ краномъ *V*, соединяемая съ отросткомъ водопроводной трубы, *S* — сѣтчатая коробка, *G* — трубка, выводящая воду наружу. Для изготовленія пульверизаціонныхъ приборовъ можетъ быть взятъ различный матеріалъ, лишь бы онъ въ виду спеціальнаго назначенія не окислялся и не разрушался отъ дѣйствія щелочей. Такъ какъ въ этихъ приборахъ нѣтъ ни клапановъ, ни подвижныхъ частей, которыя слѣдовало бы изолировать отъ вліянія внѣшняго воздуха, то они также пригодны для удаленія грязной воды, содержащей песокъ и илъ. Даже прямо такимъ образомъ можно достать со дна самый песокъ и илъ, и въ дѣйствительности



148. Осушеніе рва.

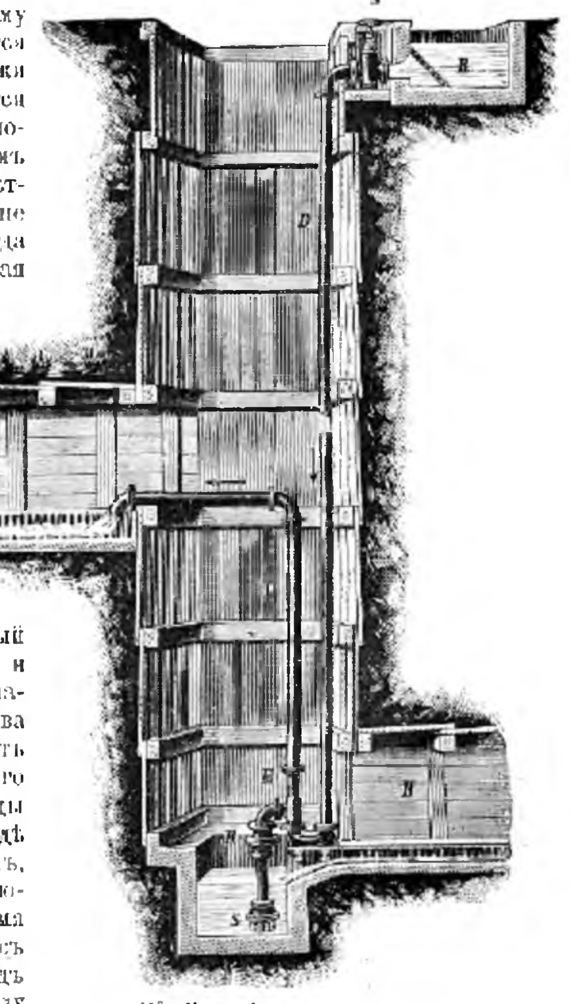
примѣняютъ эти насосы для очистки наноснаго песку **котловинъ**, бассейновъ и прудовъ. Для этой цѣли привѣшиваютъ аппаратъ на цѣпочкѣ

и опускаютъ его внизъ до дна, какъ это видно на рисункѣ 149, изображающемъ приборъ, употребляемый для очистки колодцевъ. Въ этихъ приборахъ элеваторъ устроенъ такимъ образомъ, что паръ и вода подъ давленіемъ, которыми приборъ приводится въ дѣйствіе, выходятъ снизу черезъ маленькія отверстія и разрыхляютъ песокъ или илъ, загрязняющіе дно; все это смѣшивается въ общую массу, всасывается черезъ трубку въ коробку насоса и выбрасывается оттуда вверхъ. *D*, какъ и прежде, изображаетъ трубку для впуска пара и воды подъ давленіемъ съ краномъ *F*, *E* — пульверизаціонный аппаратъ, *C*— водоподъемная трубка, *G* — лотокъ для стока грязи. Трубка *C* и *D* отчасти замѣняются каучуковой кишкой, чтобы снарядъ легче можно было поднимать и опускать.



149. Очищеніе колодца

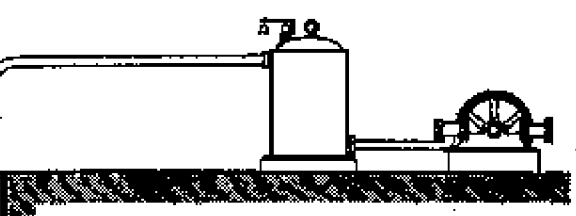
На рисункѣ 150 представлено интересное примѣненіе элеватора, гдѣ для приведенія прибора въ дѣйствіе пользуются поверхностной водой, стекающей по естественному склону горы. Вода эта собирается въ бассейнѣ *R*. При помощи трубки *D* съ краномъ *S* вода подводится къ насосу, помѣщаемому у самой подошвы шахты въ такъ называемомъ зумпфѣ. *S* (внизу)—коробка съ сѣткой, *R* — возвратный клапанъ, не дозволяющій водѣ вытекать, когда насосъ перестаетъ работать. Стекая по нижней штольнѣ, почвенная вода собирается въ зумпфѣ, откуда и поднимается элеваторомъ до уровня верхней штольни *B*. Такимъ образомъ описанный приборъ представляетъ драгоцѣнное, весьма простое и удобное средство для удаленія почвенныхъ водъ.



150. Удаленіе почвенныхъ водъ.

Своеобразное устройство имѣетъ насосъ Фридриха Сименса, усовершенствованный фирмой А. Борзигъ въ Берлинѣ и вошедшій въ употребленіе подъ названіемъ Гейзерова или „Мамонтова насоса"; насосъ этотъ дѣйствуетъ сжатымъ воздухомъ и чаще всего употребляется для выкачиванія воды изъ глубокихъ колодцевъ. Гдѣ имѣется въ запасѣ сжатый воздухъ, или же существуютъ машины, дающія возможность во всякое время его получить, тамъ этотъ насосъ имѣетъ много преимуществъ передъ всѣми насосами, достающими воду

съ большой глубины, такъ какъ онъ не имѣетъ ни поршня, ни клапановъ, ни какихъ-либо подвѣсныхъ или подвижныхъ частей; идея прибора въ высшей степени интересна; въ основѣ ея лежитъ законъ сообщающихся сосудовъ. На рисункѣ 151 представлена схема его устройства. Водоподъемная трубка опущена въ самый срубъ колодца; отъ нея отходитъ узенькая трубочка къ резервуару съ сжатымъ воздухомъ, накачиваемымъ воздушнымъ насосомъ. Упругость воздуха въ резервуарѣ должна быть столь велика, чтобы онъ могъ уравновѣсить водяную колонну высотой отъ уровня жидкости въ колодцѣ до нижняго конца трубочки, идущей къ резервуару (на каждыя десять метровъ придется приблизительно 1 атм.). Сжатый воздухъ, выходя изъ резервуара по тоненькой трубочкѣ, станетъ затѣмъ пузырьками подниматься вверхъ по водоподъемной трубѣ. Первоначально вода въ этой трубѣ стояла на высотѣ уровня воды въ колодцѣ, но столбъ воды, прерываемый пузырьками воздуха, будетъ имѣть меньшій вѣсъ. Въ этой трубкѣ будетъ находиться какъ бы вещество представляющее смѣсь воды съ воздухомъ, и слѣдовательно должно произойти то же явленіе, какъ если бы въ одномъ изъ сообщающихся сосудовъ была вода, въ другомъ масло: болѣе легкая жидкость должна подниматься. Чѣмъ больше будетъ воздуху въ водоподъемной трубѣ, тѣмъ меньше она будетъ содержать воды и тѣмъ выше слѣдовательно будетъ подниматься, такъ что наконецъ вся трубка будетъ занята смѣсью воздуха съ водой, и послѣдняя начнетъ выливаться наружу. Насосъ будетъ непрерывно дѣйствовать до тѣхъ поръ, пока производится впускъ сжатаго воздуха; производительность его зависитъ отъ давленія воды, т.-е. отъ того, насколько глубоко трубка опущена въ воду и отъ количества сжатаго воздуха въ резервуарѣ. Чѣмъ выше давленіе, производимое на воду, тѣмъ выше она будетъ подниматься; если, положимъ, введемъ въ водоподъемную трубку такое количество воздуха, что она будетъ наполовину имъ заполнена, то вода поднимется настолько же, насколько опущена въ воду, такъ какъ вѣсъ всего столбца жидкости, а слѣдовательно и давленіе, имъ производимое, будетъ тотъ же, какъ вѣсъ сплошного столба половинной высоты. Если желаемъ достигнуть большей высоты поднятія, то должны вмѣстѣ съ тѣмъ использовать большее количество воздуха; конечно количественная производительность насоса уменьшается во столько же разъ, во сколько увеличивается высота поднятія, а вмѣстѣ съ тѣмъ и процентная примѣсь воздуха, такъ какъ жидкости будетъ выливаться все меньше и все больше будетъ выходить воздуху.



151. Гейзеровъ или Мамонтовъ насосъ.

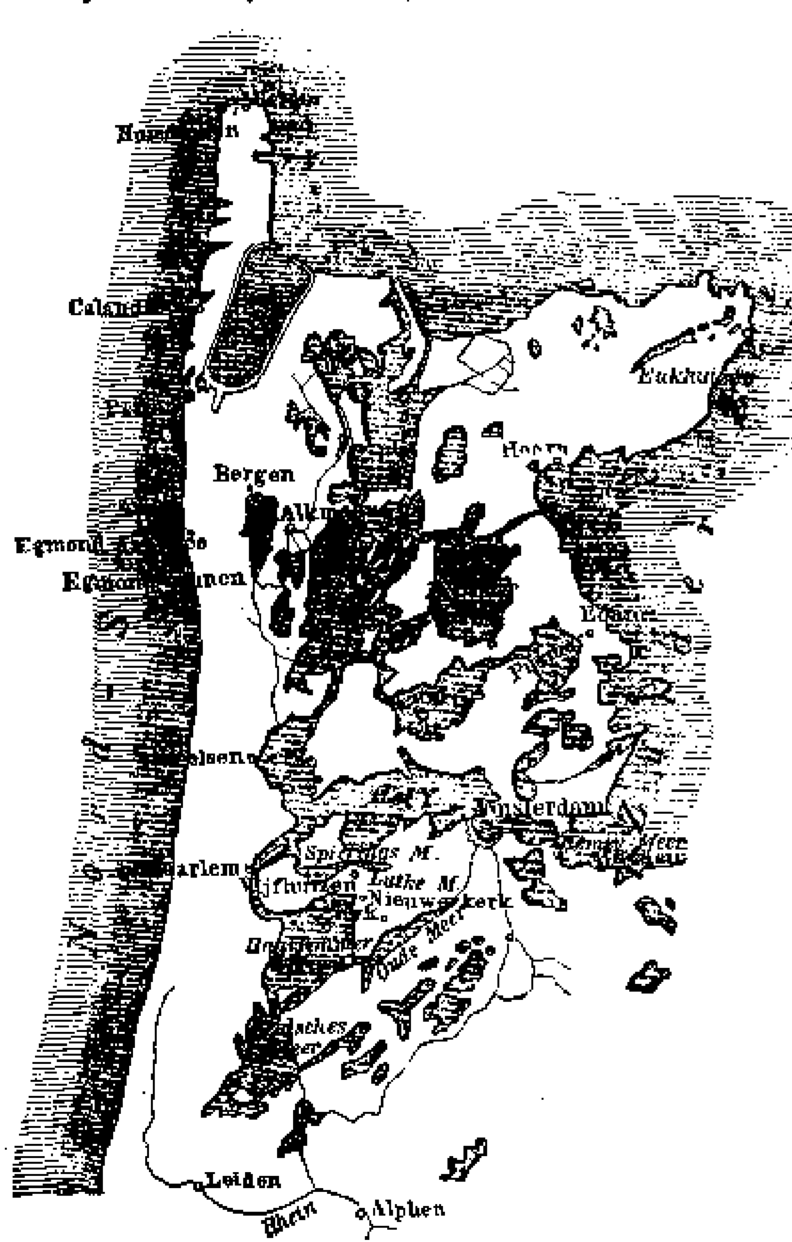
Гейзеровъ насосъ имѣютъ то преимущество, что источникъ энергіи, затрачиваемой на приведеніи его въ дѣйствіе, можетъ находиться на нѣкоторомъ разстояніи, причемъ для передачи не требуется установки какихъ-либо движущихся механизмовъ, достаточно просто устроить сообщеніе между колодцемъ и резервуаромъ съ сжатымъ воздухомъ. Колодецъ можетъ находиться даже на разстояніи нѣсколькихъ сотъ метровъ отъ фабрики, снабжаемой водой, въ наиболѣе подходящемъ мѣстѣ. Для снабженія водой отдѣльныхъ домовъ, гдѣ не имѣется какого-нибудь промышленнаго или машиннаго производства, уже нельзя воспользоваться „Мамонтовымъ насосомъ", такъ какъ въ этомъ случаѣ затруднительно имѣть всегда запасъ сжатаго воздуха.

Насосы большихъ размѣровъ употребляются тамъ, гдѣ ведется систематическое производство: въ горномъ промыслѣ, въ городскихъ водопроводныхъ сооруженіяхъ, въ гаваняхъ съ корабельными доками и т. д. При работѣ въ горахъ выкачиваніе воды довольно затруднительно не только потому, что ея набирается очень много, но еще и потому, что поднимать ее приходится на значительную высоту. Глубина нѣкоторыхъ шахтъ доходитъ до 1200 метровъ. Едва можно себѣ составить представленіе о томъ, какую огромную массу воды приходится выкачивать изъ рудниковъ, чтобы они не затоплялись отъ огромнаго притока почвенныхъ водъ въ нѣкоторыхъ горныхъ округахъ. Въ Викторовыхъ рудникахъ въ Меловицахъ (мѣстечко въ Польскомъ краѣ) работаетъ водоподъемная машина, доставляющая ежеминутно до 17 100 ведеръ воды на высоту 165 м. Еще болѣе колоссальныя водоподъемныя сооруженія находятся въ Эйслебенѣ на рудникахъ Мансфельдовскаго горнопромышленнаго общества, занимающагося добываніемъ мѣднаго сланца. Это старинное общество образовалось соединеніемъ въ одно товарищество нѣсколькихъ предпринимателей, которымъ издавна приходилось бороться съ разрушительнымъ вліяніемъ воды, проникающей въ сланцевые рудники. Прежде, когда это предпріятіе только еще начинало развиваться, можно было удалять воду, спуская ее по штольнямъ въ низменныя равнины и русла рѣкъ, но впослѣдствіи однѣхъ штольнь оказалось недостаточно. Еще въ 1809 году существовавшія въ то время пять отдѣльныхъ обществъ рѣшили построить сообща для удаленія воды штольню со шлюзами. Постройка была окончена только къ 1879 г.; штольня имѣла въ длину 31 километръ. По топографическимъ изслѣдованіямъ воду нельзя было спускать до болѣе низкаго уровня. Если шахты были слишкомъ глубоки, то приходилось изъ-нихъ выкачивать воду насосами и направлять затѣмъ въ шлюзовую штольню. Съ конца восьмидесятыхъ годовъ скопленіе воды начинаетъ быстро увеличиваться. Въ одномъ районѣ, гдѣ находится болѣе четырехъ шахтъ (Ottoschacht II, Ottoschacht IV, Segengottesschacht и Ernstschächte) въ 1893 году для осушенія мѣстности работали: 4 машины, приводимыя въ дѣйствіе поверхностной водой, 3 подземныя машины, выкачивающія вмѣстѣ до 79 куб. м. въ минуту, или до 1800 литровъ въ секунду. Работая съ промежутками, тѣ же насосы въ 1892 году выкачивали въ минуту 66 куб. м. воды, что за весь годъ составитъ 34½ милліона.

Равнымъ образомъ и водоподъемныя сооруженія при городскихъ водопроводахъ работаютъ весьма энергично. Въ Гамбургѣ при водопроводѣ работаетъ машина въ 900 лошадиныхъ силъ. Насосы выкачиваютъ въ годъ до 44 милліоновъ куб. м. воды; максимальное потребленіе опредѣляется для одного дня въ 161 000 куб. м. Всѣ же насосы въ часъ могутъ доставить до 10 000 куб. м., т.-е. до 160 000 литровъ въ минуту. Берлинскій водопроводъ за 1895 и 1896 гг. доставилъ городу 49 милліоновъ куб. м. воды. Мощность машины опредѣляется въ 1194 лошадиныхъ силы. Наибольшее потребленіе за день доходитъ до 187 000 куб. м. Ежечасно насосъ можетъ доставить до 15 000 куб. м. (250 000 литровъ въ минуту).

Однимъ изъ замѣчательнѣйшихъ результатовъ, достигнутыхъ съ помощью водоподъемныхъ машинъ, нужно признать осушеніе береговъ Гаарлемскаго моря (въ Голландіи). Большіе участки земли въ области дельты Рейна должны были бы исчезнуть съ теченіемъ времени подъ водой, еслибъ путемъ осушенія не были отвоеваны для постановки на нихъ горныхъ работъ. Въ Голландіи длинныя полосы земли лежатъ немного выше, а иногда даже частью ниже уровня океана. Только сооруженіемъ большихъ плотинъ, особенно тщательно охраняемыхъ, защищаются онѣ отъ затопленія во время прилива. Для удаленія воды, когда начнется отливъ, устроена правильная сѣть кана-

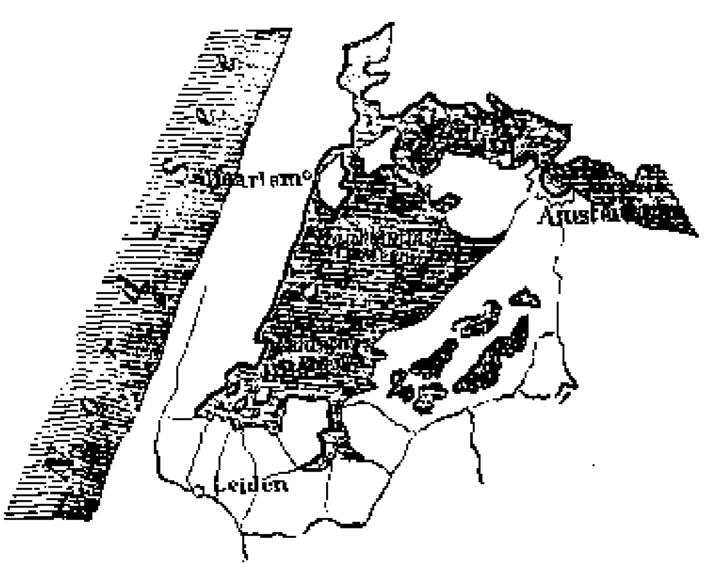
ловъ со шлюзами, и имъ на помощь являются еще цѣлыя сотни водочерпательныхъ машинъ, приводимыхъ въ движеніе крыльями вѣтряныхъ мельницъ. За прошлые вѣка многіе изъ этихъ сооруженій должны были уступить бурному натиску волнъ; особенно памятны жителямъ Фрисландіи ужасныя послѣдствія бури въ 1230 году: *сотни тысячъ человѣческихъ жизней* обрекла она себѣ въ жертву, затопила большія пространства, доставлявшія заработокъ многимъ тысячамъ семействъ трудолюбивыхъ землепашцевъ.



152. Гарлемское море въ 1530 г.

Изъ отдѣльныхъ, самостоятельныхъ *до того времени озеръ* образовалось къ тринадцатому вѣку цѣлое Гаарлемское море. Занимаемое имъ пространство въ промежутокъ немного болѣе ста лѣтъ (1530—1648 гг.) увеличилось съ 5600 до 14 200 гектаровъ (*съ 12 400 до 30 200 кв. саж.*); рис. 152—154 могутъ дать представленіе о происшедшихъ за это время измѣненіяхъ.

Многократно предлагались различнаго рода проекты для удаленія воды изъ затопленныхъ *областей; сначала* пытались воспользоваться силою вѣтряныхъ мельницъ, позднѣе къ 20-мъ годамъ прошлаго столѣтія для откачиванія воды предлагались паровые насосы, но при тогдашнемъ состояніи техники трудно было *найти* удовлетворительное рѣшеніе задачи. Губительное дѣйствіе бурь между тѣмъ все продолжалось, и къ 30-мъ годамъ Гаарлемское море занимало уже пространство приблизительно въ 18 200 гектаровъ (около 40 000 кв. саж.). Только благодаря упорному, *неустанному труду въ теченіе нѣсколькихъ* столѣтій удалось все же осушить большой участокъ земли въ сѣверной части Голландіи, какъ можно въ этомъ убѣдиться изъ сопоставленія картъ 1530 и 1852 гг. Въ 1836 г. опять были двѣ бури, сопровождавшіяся огромными опустошеніями. *Одна изъ* нихъ шла съ запада и пригнала воды Гаарлемскаго моря почти къ самому Амстердаму, такъ что до 4000 гектаровъ (8800 кв. саж.) осталось подъ водой; другая, разыгравшаяся въ самый день Рождества, устремилась по направленію къ Лейдену и затопила до 7400 гектаровъ (16 280 кв. саж.). Эти бури ясно показали, что существуетъ настоятельная необходимость найти мѣры къ предотвращенію зла. Въ 1840 году приступили къ сооруженію



153. Гарлемское море въ 1648 г.

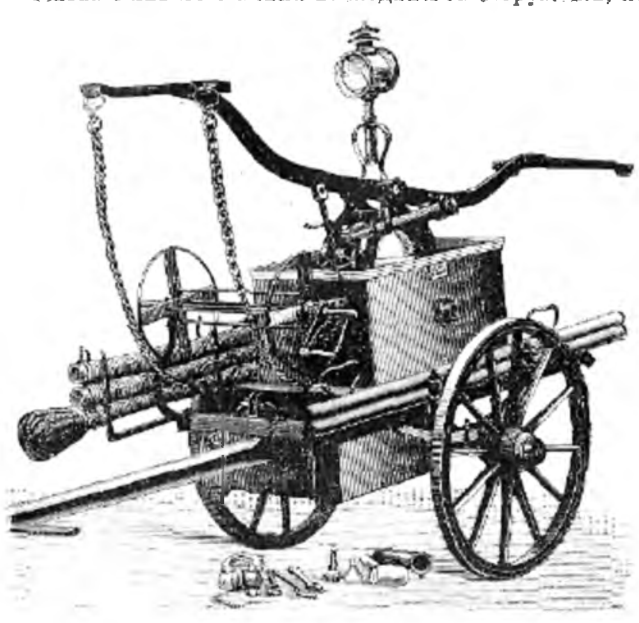
огромной плотины, которая должна была окружить всю мѣстность въ видѣ пояса; въ то же время стали рыть длинный каналъ для стока воды. Черезъ 8 лѣтъ предпринятыя работы были окончены, такъ что уже въ 1848 и 1849 гг. можно было заняться установкой гигантскихъ водоподъемныхъ машинъ, заготовленныхъ заранѣе. Въ теченіе трехъ лѣтъ было выкачано 830 милліоновъ куб. метровъ воды. Великое дѣло было окончено: земля, остававшаяся столько вѣковъ подъ водой, была наконецъ осушена и снова предоставлена въ пользованіе народу.

Къ тому времени, какъ производимыя работы приближались къ концу, возникъ новый, еще болѣе грандіозный проектъ, касающійся осушенія лежащаго нѣсколько сѣвернѣе озера Зюдерзэ. Обстоятельства дѣла здѣсь были совершенно таковы же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ. Также большое пространство, занимаемое этимъ озеромъ, представляло изъ себя нѣкогда плодородныя земли, затопленныя вслѣдствіи сильными наводненіями XII и XIII столѣтій. Въ первоначальныхъ проектахъ, относящихся къ серединѣ прошлаго столѣтія, предлагалось совершенно отдѣлить это озеро отъ моря плотиной и затѣмъ выкачать изъ него всю воду. Но такой проектъ врядъ ли могъ быть исполненъ, и въ 1875 году правительство пришло къ мысли воспользоваться имъ только для осушенія лишь нѣкоторой части пространства озера. Послѣ подробнаго и тщательнаго разслѣдованія этого вопроса, оно организовало особую комиссію, которой было предложено разсмотрѣть (въ 1892 г.) этотъ проектъ. Комиссія отнеслась къ нему съ полнымъ одобреніемъ; въ сдѣланномъ по этому поводу докладѣ проектъ признается вполнѣ осуществимымъ, и въ виду его очевидной пользы предлагается принять издержки на счетъ государства. Согласно новому проекту часть озера, извѣстная подъ названіемъ Иссельскаго озера, должна была остаться въ томъ самомъ видѣ, какой она приняла послѣ наводненій, бывшихъ 600 или 700 лѣтъ тому назадъ. Все же остальное пространство слѣдовало разбить на отдѣльныя части, такъ называемые польдерсы, обнести ихъ плотинами и осушить съ помощью насосовъ. Для защиты отъ моря была возведена насыпь на протяженіи $27^1/_2$ клм., но, чтобы озеро не оставалось совершенно изолированнымъ, были поставлены шлюзы для пропуска судовъ въ открытое море. Откачиваніе воды производилось цѣлымъ рядомъ насосовъ, мощность которыхъ въ совокупности опредѣлялась въ 14 000 лошадиныхъ силъ. Общая площадь, занимаемая всѣми польдерсами, должна была составлять 211 800

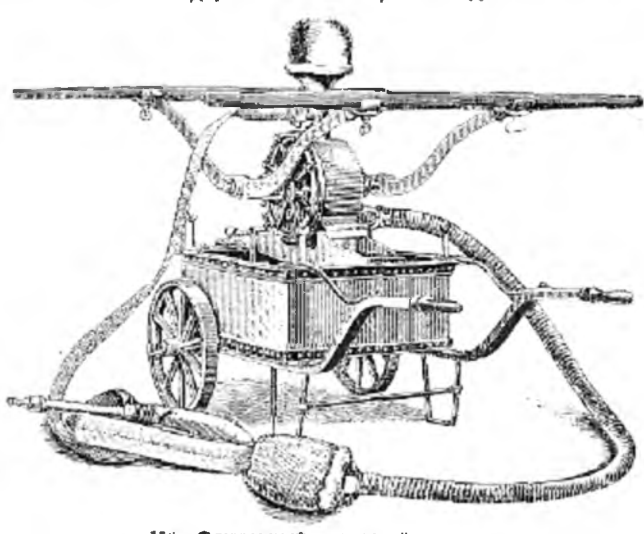


154. Карта Сѣверной Голландіи въ 1852 г.

гектаровъ (465 960 кв. саж.). Всѣ работы предполагалось окончить въ тридцатитрехлѣтній срокъ, и предварительная смѣта опредѣлена была въ 296 миллионовъ марокъ (около 137 мил. руб.). Пока еще нельзя высказать положительнаго мнѣнія о планѣ возводимыхъ сооруженій, но по всей вѣроятности знаніе и неусыпный трудъ помогутъ привести къ желанному концу этотъ *гигантскій проектъ* и возвратятъ Голландіи прекрасную, богатую провинцію съ многотысячнымъ населеніемъ.



155. Двухколесный пожарный насосъ.



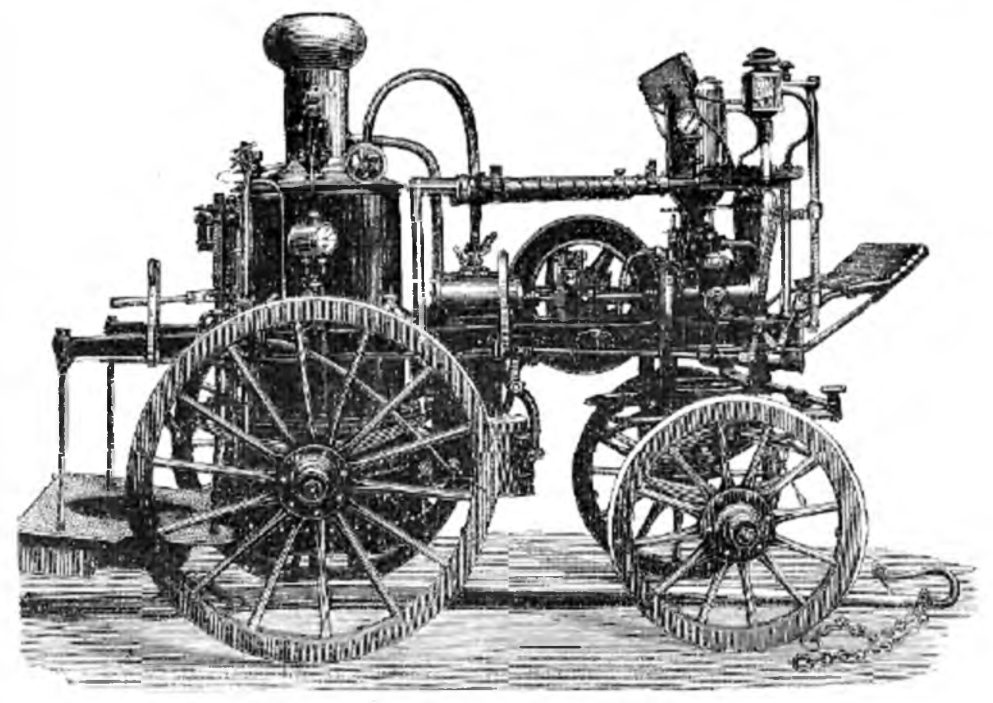
156. Флюгерный пожарный насосъ.

Пожарныя трубы. Примѣненіе насосовъ для тушенія пожаровъ имѣетъ начало въ глубокой древности. Изобрѣтеніе перваго пожарнаго насоса приписываютъ ученому *александрійской школы* Ктезибіосу. Приборъ этотъ представлялъ изъ себя соединеніе двухъ насосовъ, которые поочередно вталкивали воду въ общую трубку, но такъ какъ онъ не былъ снабженъ регуляторнымъ резервуаромъ, вода выходила неровной струей, съ перерывами въ моментъ опусканій *поршня*.

Вообще говоря, пожарная труба есть не что иное, какъ хорошій нагнетательный насосъ двойного дѣйствія съ общимъ регуляторомъ, приспособленный для спеціальнаго назначенія. Снарядъ этотъ долженъ быть достаточно проченъ, и въ то же время достаточно легокъ; *по большей части онъ* состоитъ изъ двухъ цилиндровъ, поршни которыхъ прикрѣплены къ общей качалкѣ, дѣйствующей такимъ образомъ, что, когда въ одинъ цилиндръ вода набирается, изъ другого она выталкивается въ общій резервуаръ регулятора. Насосъ можетъ или самъ набирать въ себя воду изъ ближняго колодца или пруда, или же его приходится наполнять заранѣе. Во всякомъ случаѣ, нужно стараться, чтобы всасываніемъ не приходилось воду подымать очень высоко. Обыкновенно цилиндры прикрѣплены уже къ ящику, который ставятъ на

телѣжку и наполняютъ водой, или прямо, вливая ее ведрами, или при помощи соединенія съ водопроводомъ; иногда сообщаютъ ящикъ съ переноснымъ чаномъ съ водой, иногда же употребляютъ для этой цѣли маленькій, такъ называемый, питательный насосъ. Пожарныя трубы бываютъ двухъ родовъ: однѣ накрѣпко придѣланы къ телѣжкѣ, такъ что и во время пожара остаются на ней, другія же снимаются и ставятся на землю, когда ихъ приходится употреблять въ дѣло. На рис. 155 изображенъ небольшой насосъ второго типа, еще не снятый съ двухколески. Цилиндры насосовъ установлены въ ящикѣ наискось; между ними, нѣсколько выше, выдается сосудъ въ видѣ круглой коробки — это резервуаръ регулятора.

За послѣднее время для тушенія пожаровъ съ успѣхомъ примѣняются насосы съ флюгеромъ. На рис. 156 представленъ приборъ такого устрой-



157. Паровой пожарный насосъ.

ства Готтарта Альвейлера (въ г. Радольфцелѣ въ Баденскомъ королевствѣ). Главную часть прибора составляетъ флюгерный насосъ четверного дѣйствія (ранѣе описаннаго типа). Валъ съ флюгерами вставленъ такимъ образомъ, что концы его съ той и съ другой стороны выступаютъ наружу. Вверху находится регуляторный резервуаръ, а нѣсколько ниже къ оси съ обѣихъ сторонъ прикрѣплены двуплечіе рычаги, съ рукоятками для качанія. На отростокъ водоподъемной трубки, вблизи регулятора, насаживается кишка. Посредствомъ крана съ тремя отверстіями насосъ можетъ быть сообщенъ съ запаснымъ бакомъ, установленнымъ на телѣжкѣ, или съ рукавомъ, опускаемымъ въ прудъ или колодецъ. Описанный нами приборъ вполнѣ цѣлесообразно примѣняется въ качествѣ питательнаго насоса.

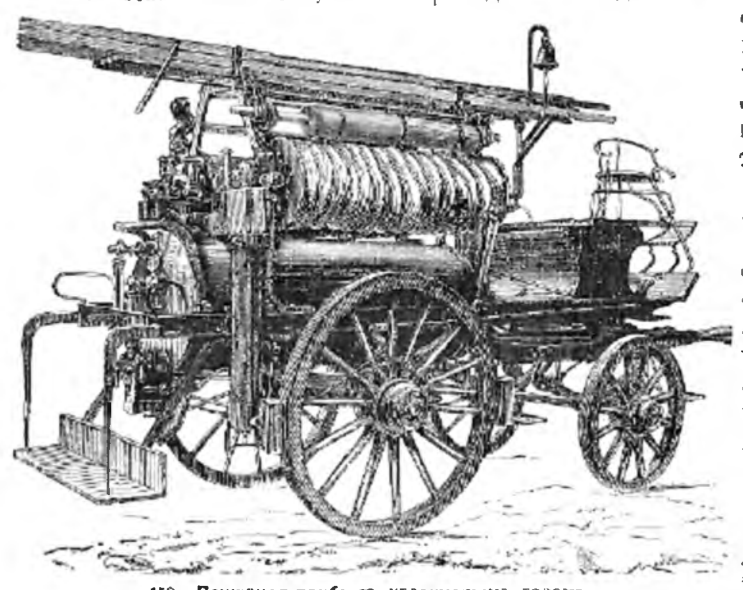
Въ большихъ городахъ для тушенія сильныхъ пожаровъ прибѣгаютъ къ паровымъ насосамъ. Паровая пожарная труба выбрасываетъ огромное количество воды, такъ что быстро можетъ залить огонь. Даже въ городахъ съ среднимъ населеніемъ, пожарныя команды рѣдко обходятся безъ паровой

трубы. Одна изъ такихъ трубъ специальной фабрики пожарныхъ снарядовъ Фладера въ Іогштадтѣ (въ Саксоніи) изображена на рисункѣ 157. Труба эта снабжена желѣзнымъ продолговатымъ паровымъ котломъ; нагрѣваніемъ въ теченіе 8—10 м. достигается уже давленіе, достаточное для приведенія въ дѣйствіе парового насоса, устанавливаемаго на телѣжкѣ; этотъ насосъ въ свою очередь заставляетъ работать поршни другого насоса двойного дѣйствія, поставленнаго горизонтально. Лучшія паровыя пожарныя трубы приводятся въ дѣйствіе паровою машиною въ 16 лошадиныхъ силъ, причемъ давленіе пара достигаетъ 9 атмосферъ. Такая труба можетъ въ минуту вылить въ очагъ пожара до 1500 литровъ. *Если у трубы только одна кишка*, то она выбрасываетъ струю шириною въ 28 мм. на высоту 50—60 метровъ.



158. Аннигиляторъ.

Для предупрежденія пожаровъ, а также для борьбы съ огнемъ до прибытія пожарныхъ на фабрикахъ, мельницахъ, въ магазинахъ, торговыхъ домахъ и вообще въ большихъ жилыхъ помѣщеніяхъ за послѣднее время входятъ въ употребленіе небольшіе ручные насосы, такъ называемые аннигиляторы и гидропульты. Рис. 158 представляетъ внѣшній видъ аннигилятора. Въ жестяной оправѣ заключенъ сосудъ съ водой и нагнетательный насосъ, легко приводимый въ дѣйствіе однимъ человѣкомъ; снарядъ этотъ немного вѣситъ, такъ что передвигать его съ мѣста на мѣсто не представитъ затрудненія.



159. Пожарная труба съ углекислымъ газомъ.

Совершенно своеобразное устройство представляетъ изъ себя пожарная труба съ углекислымъ газомъ Ф. И. Штумпфа въ Бреславлѣ. Труба эта служитъ для того, чтобы по прибытіи на мѣсто пожара, пока еще другія трубы не соединены съ гидрантами водопровода и питательными снарядами, уже можно было оказать первую помощь. Для этой цѣли имъ придается совершенно обособленное устройство; все необходимое для того, чтобы приняться за дѣло, находится тутъ же при ней, какъ-то: складная лѣстница, пожарная кишка, дымовая труба, ключъ къ гидранту и соединительныя трубки.

Въ Бреславлѣ для тушенія пожара прежде другихъ высылается такая пожарная труба съ углекислымъ газомъ. Конструкція ея состоитъ въ слѣдующемъ: на телѣжкѣ укрѣпляется кованый желѣзный котелъ, вмѣстимостью въ 600 литровъ, способный выдержать давленіе до 10 атмосферъ. Рядомъ съ этимъ котломъ находятся два также кованыхъ желѣзныхъ баллона съ жидкой углекислотой, по 8-ми килограммовъ въ каждомъ. Углекислота при температурѣ 15° С. подвержена давленію въ 52 атм. Если откроемъ кранъ одного изъ баллоновъ, жидкая кислота станетъ освобождаться и обращаться въ газообразное состояніе. Оба баллона при помощи трубокъ съ клапанами сообщаются съ котломъ, наполненнымъ водой. Тотчасъ по прибытіи на мѣсто пожара привинчиваютъ къ котлу кишку и открываютъ кранъ у баллона. Входя въ котелъ, углекислота производитъ на воду давленіе, доходящее до четырехъ атмосферъ, такъ что изъ наконечника кишки она бьетъ сильной струей. Для устраненія возможности взрыва отверстіе наконечника должно быть постоянно открыто, и длина кишки должна быть разсчитана такимъ образомъ, чтобы при извѣстной величинѣ отверстія, положимъ, 10 мм. въ діаметрѣ, давленіе не превышало 4 атмосферъ. Направивъ струю въ огонь, не прекращая дѣйствія прибора, устроиваютъ соединеніе между кишкой насоса и ближайшимъ гидрантомъ водопровода, такъ что, когда въ котлѣ весь запасъ воды истощится, ее можно пустить изъ водопровода, повернувъ только въ другое положеніе кранъ (съ тремя отверстіями) у насоса.

Въ заключеніе слѣдуетъ упомянуть о паровыхъ и водяныхъ пульверизаціонныхъ пожарныхъ трубахъ системы братьевъ Кёртинговъ (объ этой фирмѣ мы уже имѣли случай говорить). Устройство этихъ приборовъ весьма несложно, и главнымъ образомъ они примѣняются тамъ, гдѣ уже имѣются паровые котлы, въ особенности если соединеніе послѣднихъ съ водопроводомъ производится безъ помощи гидрантовъ. Отъ парового котла идетъ въ стѣнѣ трубка къ пульверизаціонному насосу, помѣщенному внутри или надъ какимъ-либо вмѣстилищемъ съ водой, будь то прудъ, колодецъ или тому подобное. Къ штутцеру водоподъемной трубы привинчивается затѣмъ пожарная кишка. Въ нѣкоторыхъ заведеніяхъ, занятыхъ цѣлымъ рядомъ отдѣльныхъ зданій, труба прокладывается по всему двору; вблизи каждаго строенія отъ нея отходитъ отростокъ, на который можетъ быть навинчена кишка. Эти отростки обыкновенно скрыты въ особыхъ ящичкахъ. Обращеніе съ паровой пульверизаціонной трубой крайне просто. Когда покажется огонь, слѣдуетъ открыть кранъ парового котла и присоединить кишку къ одному изъ отростковъ водоподъемной трубы, послѣ этого можно сразу начать заливать пламя. Такъ какъ описанный приборъ не имѣетъ подвижныхъ частей и почти не подвергается порчѣ, то его во всякое время можно пустить въ дѣло, даже если бы до того онъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ вовсе не употреблялся. По этой причинѣ на пароходахъ для тушенія пожаровъ прибѣгаютъ къ помощи тѣхъ же снарядовъ.

Производительность ихъ зависитъ отъ величины насоса, отъ размѣра трубки, подводящей паръ, отъ давленія, а также конечно отъ длины и толщины водоподъемной трубки. Для того, чтобы струя поднималась на высоту 20-ти метровъ, что соотвѣтствуетъ высотѣ поднятія воды въ гидрантахъ городского водопровода, достаточно давленія 2—3 атмосферъ.

Гдѣ уже имѣются резервуары съ водой, подверженной сильному давленію, напримѣръ въ гаваняхъ и на дамбахъ, можно прямо присоединить къ нимъ пульверизаціонный насосъ и пользоваться имъ въ качествѣ пожарной трубы. Въ этомъ случаѣ, использовавъ небольшое количество воды, подверженной высокому давленію (до 50-ти атм.), получаютъ возможность, извлекая ее изъ резервуара съ меньшимъ давленіемъ (6—8 атм.), или изъ

моря, или изъ другого какого-либо источника, доставлять затѣмъ вверхъ въ большомъ количествѣ. Въ гамбургскихъ портовыхъ сооруженіяхъ находятся съ наружной части зданій 15 Кёртинговыхъ водяныхъ элеваторовъ высокаго давленія, способныхъ доставить на случай пожара около 1600 литровъ въ минуту, и кромѣ того въ запасныхъ складахъ установлено 134 подобныхъ же снарядовъ, доставляющихъ около 700 литровъ въ минуту. Въ бременской гавани имѣется 50 такихъ же насосовъ.

Механика газообразныхъ тѣлъ (аэромеханика).

Давленіе атмосферы. „Природа боится пустоты". Опыты Торричелли. Положенія Паскаля. Вѣсомость воздуха. Подъемная сила воздуха. Воздушный шаръ. Опыты Отто фонъ-Герике. Воздушный насосъ. Магдебургскія полушарія. Законы Маріотта и Гей-Люссака. Манометръ, вакуметръ и барометръ. Гидрометръ. Самопишущій манометръ. Новѣйшія устройства воздушнаго насоса. Опыты съ воздушнымъ насосомъ. Водяной воздушный насосъ. Пульверизаціонные воздушные насосы. Ассенизація. Эксгаусторъ. Сгустительный насосъ. Духовое ружье. Артиллерійскія орудія, дѣйствующія сжатымъ воздухомъ. Пульверизаціонный аппаратъ. Центробѣжный воздушный насосъ. Вентиляція. Вращающійся вентиляторъ. Вентиляція рудниковъ при помощи сжатаго воздуха. Пульверизаціонный вентиляторъ. Пневматическая почта. Пневматическая желѣзная дорога. Пневматическіе трамваи.

Уже раньше, когда мы говорили о физическихъ состояніяхъ тѣлъ, мы упоминали между прочимъ объ общемъ свойствѣ, присущемъ всѣмъ газамъ, именно упругости, въ силу котораго газы стремятся всегда занять какъ можно большій объемъ.

Далѣе мы познакомились съ явленіемъ атмосфернаго давленія, выражающемся въ томъ, что всякое тѣло, окруженное воздухомъ, испытываетъ съ его стороны давленіе, распредѣляющееся равномѣрно по всей поверхности тѣла. Это явленіе послужило намъ къ объясненію дѣйствія сифона и насосовъ.

Открытіе атмосфернаго давленія является крупнымъ шагомъ въ прогрессѣ познанія природы. Но явленія, происходящія въ силу существованія этого давленія и въ немъ находящія для себя объясненіе, были извѣстны задолго до этого открытія; для примѣра вспомнимъ опять о сифонѣ и насосѣ. Древніе натурфилософы объясняли происходящія здѣсь явленія тѣмъ, что, какъ они говорили: „природа боится пустоты". По ихъ мнѣнію, природа не можетъ допустить существованія пустого пространства, и чуть гдѣ является пустота, она тотчасъ стремится ее заполнить матеріей. Когда поднимаемъ поршень насоса, то боязнь пустого пространства побуждаетъ природу толкать воду вверхъ вслѣдъ за поршнемъ насоса. Такимъ образомъ природѣ приписывалась разумная воля, подобно упомянутому ранѣе ученію о сродствѣ. Только лишь къ эпохѣ Галилея пришли къ сознанію, что боязнь пустоты не является закономъ, справедливымъ для всѣхъ отдѣльныхъ случаевъ его примѣненія. Даже ранѣе того, конечно, должно было казаться непонятнымъ, что всасывающій насосъ дѣйствуетъ лишь до извѣстной высоты. И съ этимъ фактомъ несомнѣнно древнимъ приходилось сталкиваться (такъ какъ къ чему бы иначе имъ понадобилось устройство нагнетательнаго насоса), только въ голову-то никому не пришло найти для него вѣрное объясненіе.

Ученикъ и помощникъ ослѣпшаго на склонѣ лѣтъ Галилея, Торричелли (1608—47), первый пришелъ къ открытію атмосфернаго давленія въ 1643 г. Поводомъ къ этому послужило то обстоятельство, что одинъ изъ насосовъ во Флоренціи не могъ поднять воду выше 32 футовъ. Этотъ случай привлекъ на себя всеобщее вниманіе ученыхъ того времени. Даже изощренный и философски развитой умъ Галилея не могъ найти ему объясненія, несмотря на то, что великому ученому давно уже было извѣстно, что воз-

духъ имѣетъ вѣсъ: онъ даже пытался опытнымъ путемъ опредѣлить его плотность. И о сопротивленіи воздуха, т.-е., въ сущности, о его давленіи у Галилея составилось представленіе изъ опытовъ, производившихся имъ съ маятникомъ; онъ только не видалъ связи между атмосфернымъ давленіемъ и тѣми явленіями, которыя объяснялись стремленіями природы замѣнить пустое пространство. Торричелли же нашелъ правильный путь къ объясненію интересовавшаго всѣхъ факта, исходя изъ положенія своего учителя относительно вѣсомости воздуха. Онъ понялъ, что только тяжестью воздуха вода вгоняется въ пустое пространство и что высота, до которой она поднимается, находится въ зависимости отъ производимаго имъ давленія. Еще за двѣнадцать лѣтъ до этого открытія Декартъ на основаніи чисто теоретическихъ соображеній пришелъ къ тому заключенію, что воздухъ долженъ производить давленіе, и что это давленіе можетъ являться причиной ограниченія высоты поднятія воды въ цилиндрѣ насоса, но онъ не далъ развитія своей идеѣ и не постарался потвердить ее опытными данными. Торричелли же тотчасъ же, какъ пришелъ къ своему выводу, произвелъ опытъ, доказывающій справедливость сдѣланныхъ имъ заключеній. Онъ разсуждалъ такъ: если замѣнимъ воду ртутью, которая въ $13^1/_2$ разъ плотнѣе, то высота поднятія должна быть въ $13^1/_2$ разъ меньше. Взявши длинную стеклянную трубку, запаянную съ одного конца, онъ наполнилъ ее ртутью, закрылъ открытый конецъ пальцемъ и, перевернувъ ее этимъ концомъ книзу опустилъ затѣмъ въ чашку, также наполненную ртутью. Какъ Торричелли предполагалъ, такъ и случилось: ртуть стала вытекать и остановилась только на высотѣ 76 см.; вверху надъ этимъ пространствомъ была пустота. Этимъ была обнаружена несостоятельность прежняго положенія относительно того, что природа боится пустоты; вмѣстѣ съ тѣмъ употребленный въ этомъ опытѣ приборъ представляетъ изъ себя первоначальную конструкцію барометра.

Описанный опытъ надѣлалъ много шума среди приверженцевъ прежняго воззрѣнія, много было попытокъ подыскать ему различныя, довольно замысловатыя объясненія, но все же авторитетъ древняго ученія Аристотеля былъ поколебленъ, и въ концѣ концовъ пришлось отъ него отказаться. Знаменитый французскій ученый, Паскаль, получивъ извѣстіе объ опытѣ Торричелли, сначала нашелъ для него объясненіе въ томъ, что стремленію природы заполнять всякое пустое пространство матеріей положенъ извѣстный предѣлъ. Посыпавшіеся со всѣхъ сторонъ упреки въ умаленіи авторитета природы, яростно поддерживаемые учеными, безусловно вѣрящими въ непоколебимость древняго принципа, побудили его къ болѣе обстоятельному изслѣдованію этого вопроса; съ первыхъ же шаговъ Паскаль самъ примкнулъ къ воззрѣнію Торричелли и сталъ однимъ изъ ревностныхъ его сторонниковъ. Онъ даже нашелъ для этой теоріи новое подтвержденіе, указавъ на тотъ фактъ, что на вершинѣ горы Пюи-де-Домъ (въ Клермонѣ), высотою въ 1570 м. ртуть устанавливается въ приборѣ Торричелли не такъ высоко, какъ у ея подошвы. Эти экспериментальныя работы Паскаля способствовали утвержденію и распространенію ученія Торричелли.

Какъ было выше объяснено, воздухъ производитъ давленіе вслѣдствіе своей тяжести. Но удѣльный вѣсъ воздуха незначителенъ по сравненію съ уд. вѣсомъ жидкостей и твердыхъ тѣлъ (1 литръ воздуха вѣситъ 1,29 гр.), поэтому въ общежитіи считаютъ воздухъ невѣсомымъ. Такъ какъ высота атмосферы весьма значительна, то давленіе, производимое всѣми ея слоями, достигаетъ 1,033 кгр. на кв. см., или на 1 кв. м. и придется 10 333 кгр. Вслѣдствіе упругости воздуха это давленіе распредѣляется, подобно гидростатическому, равномѣрно по всей поверхности тѣла. Это слѣдуетъ понимать такъ, что не только горизонтально расположенная поверхность тѣла, но вся

его поверхность, находящаяся въ соприкосновенiи съ воздухомъ, въ каждой своей части испытываетъ давленiе, равное вѣсу столба атмосферы надъ данной поверхностью. Нисколько не слѣдуетъ удивляться тому, что это колоссальное давленiе, вообще говоря, явно ни въ чемъ не обнаруживается: мы напримѣръ не чувствуемъ его осязательно; причину этому нужно искать въ томъ, что давленiе повсюду распредѣляется равномѣрно. Съ какой силой атмосфера давитъ на насъ извнѣ, съ той же силой воздухъ, заключенный въ тканяхъ и пустотахъ внутри нашего тѣла, оказываетъ сопротивленiе производимому давленiю.

Такъ какъ давленiе атмосферы является слѣдствiемъ вѣсомости воздуха, то съ удаленiемъ отъ поверхности земли это давленiе должно убывать, потому что слой воздуха, лежащiй выше, будетъ становиться тоньше по мѣрѣ удаленiя. Законы давленiя воздуха совершено сходны съ законами гидростатическаго давленiя. Высота нашей атмосферы до сихъ поръ еще не опредѣлена. Если считать, что плотность и химическiй составъ воздуха во всѣхъ слояхъ одинаковы, то слѣдуетъ принять эту высоту = 8 клм. На самомъ же дѣлѣ высота атмосферы значительно больше, такъ какъ чѣмъ выше лежитъ извѣстный слой воздуха, тѣмъ больше разрѣженiе его въ этомъ слоѣ, и тѣмъ слѣдовательно меньше плотность. Существуетъ предположенiе, что и химическiй составъ верхнихъ слоевъ атмосферы совершенно иной. Содержанiе самаго легчайшаго изъ всѣхъ газовъ, водорода, котораго въ нижнихъ слояхъ почти нѣтъ, должно возрасти и въ наиболѣе удаленныхъ слояхъ стать преобладающимъ. На основанiи изученiя законовъ преломленiя свѣта и наблюденiй надъ падающими звѣздами въ предѣлахъ земной атмосферы, высота ея была опредѣлена въ 225 клм.

Величина атмосфернаго давленiя измѣряется барометромъ. Приборъ этотъ можетъ служить также для опредѣленiя высоты даннаго мѣста и для метеорологическихъ цѣлей. Болѣе подробныя свѣдѣнiя обо всемъ здѣсь изложенномъ можно найти во второй части этого тома.

Подъемная сила воздуха. Точно такъ, какъ всякое тѣло, погруженное въ воду, согласно законамъ гидростатики, теряетъ часть своего вѣса, иначе испытываетъ давленiе снизу въ вверхъ, также и въ воздухѣ оно испытываетъ такое же давленiе; но величина этого давленiя настолько мала, что въ случаяхъ обыденной жизни вліяніе его почти незамѣтно, такъ что имъ обыкновенно на практикѣ пренебрегаютъ. Потеря вѣса здѣсь, какъ и въ водѣ, равна вѣсу воздуха въ объемѣ даннаго тѣла. Какъ было уже замѣчено, вѣсъ куб. метра воздуха при обыкновенныхъ условiяхъ=1,29 клгр., или вѣсъ одного литра = 1,29 гр. Тѣло, вѣсомъ въ килограммъ, занимающее большое пространство, теряетъ въ воздухѣ больше, нежели тѣло равнаго вѣса, но меньшаго объема, т.-е. удѣльный вѣсъ котораго больше. Задаваемый часто въ шутку вопросъ „Что тяжелѣе—фунтъ свинца или фунтъ пуха“ оказывается съ этой точки зрѣнiя не лишеннымъ нѣкотораго смысла. Фунтъ пуха, если взвѣшиванiе было произведено въ воздухѣ, окажется тяжелѣе, нежели фунтъ свинца, когда мы повторимъ взвѣшиванiе въ безвоздушномъ пространствѣ, т.-е. опредѣлимъ вѣсъ того и другого тѣла вполнѣ строго, или же сравнимъ ихъ массы въ такихъ условiяхъ, гдѣ не является противодѣйствующаго давленiя, направленнаго снизу вверхъ. Примѣръ будетъ еще болѣе наглядным, если мы вмѣсто пуха возьмемъ маленькiй воздушный шаръ; по обыденнымъ понятiямъ онъ вовсе не имѣетъ вѣса, такъ какъ не давитъ на подставку, не падаетъ на землю, наоборотъ, самъ стремится вверхъ въ направленiи, обратномъ тому, по какому дѣйствуетъ сила тяжести; а если прикрѣпимъ его къ коромыслу чувствительныхъ вѣсовъ, шарикъ даже можетъ приподнять одно изъ его плечъ. На самомъ же дѣлѣ воздушный шаръ конечно имѣетъ вѣсъ, и для опредѣленiя этого вѣса

нужно или произвести взвѣшиваніе въ безвоздушномъ пространствѣ, или же найти вычисленіемъ разность между вѣсомъ воздуха въ объемѣ шара и его подъемной силой, величина которой можетъ быть опредѣлена при помощи чувствительныхъ вѣсовъ. Поэтому, когда требуется опредѣлить строго научно, какой вѣсъ имѣетъ тѣло, послѣ взвѣшиванія его на точныхъ вѣсахъ, вычисляютъ, какъ говорится, поправку на потерю вѣса въ воздухѣ.

На свойствѣ воздуха производить давленіе снизу вверхъ на тѣла, имъ окруженныя, основано устройство воздушныхъ шаровъ. Имѣя въ виду только-что сказанное, легко опредѣлить подъемную силу воздушнаго шара. Для *шара, вмѣщающаго 700 куб. м. газа, какіе въ настоящее время чаще всего* употребляются, вѣсъ оболочки, корзины и всѣхъ необходимыхъ принадлежностей достигаетъ обыкновенно 150 кгр. Если наполнимъ шаръ свѣтильнымъ газомъ, плотность котораго относительно воздуха 0,40, то вѣсъ газа составитъ 280 кгр., а вѣсъ вытѣсненнаго воздуха = $(700 \times 1,29)$ кгр., т.-е. приблизительно 900 кгр. Подъемная сила шара, стало-быть, опредѣлится въ $900-(150+280)=470$ кгр. Если же наполнить шаръ болѣе легкимъ, но и болѣе дорогимъ газомъ, чистымъ водородомъ (вѣсъ кубическаго метра $= 0,09$ кгр.), то подъемная сила составитъ $700 \times (1,29 - 0,09) - 150 = 690$ кгр.



160. Отто фонъ-Герике.

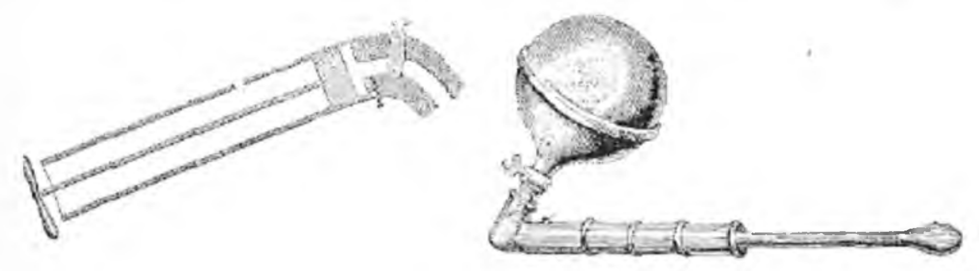
Въ техникѣ подъ давленіемъ одной атмосферы разумѣютъ не ту величину, которой мы до сихъ поръ пользовались: 1,033 кгр. на квадратный метръ, а для простоты обозначаютъ этимъ терминомъ округленную величину, т.-е. давленіе въ 1 кгр. на 1 кв. см. Опредѣленная такимъ образомъ величина сохраняетъ постоянное значеніе, независимо отъ высоты даннаго мѣста надъ уровнемъ океана и прочихъ условій, тогда какъ, понимая этотъ терминъ буквально, конечно пришлось бы имѣть дѣло съ перемѣнной величиной.

Воздушный насосъ Отто фонъ-Герике. Часто отмѣчаемый въ исторіи фактъ, что различныя открытія и изобрѣтенія дѣлаются почти одновременно двумя лицами, живущими въ различныхъ городахъ и не имѣющими между собой никакихъ сношеній, повторился и при открытіи атмосфернаго давленія. Нѣмецкій ученый, Отто фонъ-Герике, пришелъ къ этому открытію совершенно независимымъ путемъ, ничего не зная о работахъ Торричелли и Паскаля, такъ какъ получилъ о нихъ извѣстія много времени спустя, послѣ своихъ собственныхъ выводовъ. По справедливости, Герике слѣдуетъ причислить къ выдающимся ученымъ, положившимъ новыя основанія къ изученію физики и механики. Онъ былъ однимъ изъ первыхъ

ученыхъ, старавшихся ниспровергнуть въ Германіи царство схоластической науки и расчистить путь къ созерцательному и разсудочному пониманію явленій природы, т.-е. путь къ истинному естествознанію.

Отто фонъ-Герике родился въ Магдебургѣ въ 1602 г. Первоначально, еще въ юношескихъ годахъ, онъ занимался юриспруденціей въ Лейпцигѣ и Іенѣ, но впослѣдствіи въ Лейденѣ онъ обратился къ изученію физики и математики. Позднѣе *онъ сдѣлался ратсгерромъ родного города и пережилъ завоеваніе Магдебурга* полчищами Тилли; послѣ того какъ городъ снова воскресъ изъ развалинъ, Герике былъ провозглашенъ его бургомистромъ. Умеръ онъ въ 1686 году въ Гамбургѣ, куда незадолго передъ смертью переѣхалъ къ сыну отдохнуть отъ трудовъ дѣятельной и плодотворной жизни.

Герике своимъ свѣтлымъ умомъ понялъ, что въ дѣлѣ изученія природы нужно выставить на первый планъ опытъ, а не прибѣгать къ замысловатымъ туманнымъ разсужденіямъ и упражненіямъ въ діалектикѣ. Въ предисловіи къ своему капитальному сочиненію „De vacuo spatio" (О пустомъ пространствѣ) онъ говоритъ слѣдующее: „Словоизверженія и употребленіе красивыхъ фразъ такъ же, какъ умѣніе вести споры, ровно ничего не значатъ, если дѣло касается области естествознанія". И тѣмъ не менѣе самъ Герике, какъ и Галилей, не могъ совершенно сбросить съ себя путы натурфилософіи и отрѣшиться отъ древняго міровоззрѣнія. Его замѣчательныя естественно-научныя работы, въ особенности мемуары объ опытныхъ



161. Первый воздушный насосъ Отто фонъ-Герике. 162. Воздушный насосъ Герике.

изслѣдованіяхъ надъ пустымъ пространствомъ, испещрены философскими разсужденіями о томъ, что такое пустота. Въ сочиненіи его среди мыслей, весьма драгоцѣнныхъ съ точки зрѣнія научнаго пониманія природы, нерѣдко встрѣчаются отвлеченія въ область философіи и даже теологіи, въ родѣ вопросовъ о небесномъ пространствѣ и мѣстоположеніи въ немъ ада. Относительно природы воздуха у него весьма странныя воззрѣнія, которыя впрочемъ нисколько не мѣшали ему правильно понимать явленія аэростатики и провѣрять законы ея путемъ опыта; онъ считаетъ воздухъ какимъ-то газомъ, испускаемымъ земными предметами.

Цѣлью первыхъ своихъ опытовъ Герике поставилъ добиться полученія вполнѣ безвоздушнаго или даже совершенно пустого пространства, что по мнѣнію приверженцевъ древняго ученія считалось недостижимымъ, такъ какъ это стояло въ противорѣчіи съ воззрѣніемъ, что природа не терпитъ пустоты. Въ первомъ опытѣ онъ наполнялъ до краевъ деревянную бочку, закрывалъ затѣмъ по возможности плотно всѣ сдѣланныя въ ней отверстія и затѣмъ заставлялъ воду вытекать по трубкѣ, вставленной въ дно бочки. Такимъ образомъ внутри бочки надъ поверхностью воды должна была получиться совершенная пустота, но опытъ не удался, такъ какъ воздухъ отовсюду проникалъ черезъ скважины дерева и соединенія въ мѣстахъ стыка. Когда послѣ нѣсколькихъ опытовъ Герике убѣдился, что дерево обладаетъ большой скважностью, онъ рѣшилъ воспользоваться металлическимъ сосудомъ. И дѣйствительно въ поломъ мѣдномъ шарѣ ему удалось съ помощью насоса настолько разрѣдить воздухъ, что когда открывался кранъ, атмосферный воз-

духъ со свистомъ врывался въ него, стремясь заполнить сосудъ. Для этого опыта Герике пришлось построить новый, имъ впервые изобрѣтенный приборъ — воздушный насосъ. Приданное ему первоначально устройство изображено на рисункахъ 161 и 162. Круглый, полый внутри, пріемникъ привинчивается къ цилиндру; сообщеніе съ послѣднимъ можетъ быть закрыто краномъ. Въ цилиндрѣ плотно ходитъ поршень съ ручкой; при выдвиганіи поршня пріемникъ сообщается съ цилиндромъ, такъ что воздухъ въ немъ (пріемникѣ) разрѣжается; когда поршень выдвинутъ до конца, то цилиндръ разобщается отъ пріемника, для чего кранъ закрывается, и затѣмъ открывается боковое отверстіе цилиндра наружу. Послѣ нѣсколькихъ вдвиганій и выдвиганій выкачиваніе воздуха становится настолько затруднительнымъ, что два человѣка едва съ этимъ справлялись.

Таково устройство перваго воздушнаго насоса Герике; одинъ изъ его экземпляровъ хранится въ Берлинской королевской библіотекѣ. Впослѣдствіи Герике нѣсколько усовершенствовалъ свой насосъ и придалъ ему форму, изображенную на рисункѣ 163. Цилиндръ насоса оканчивается наверху трубочкой; къ ней привинчивается сосудъ, изъ котораго хотятъ выкачать воздухъ; сосудъ этотъ долженъ быть снабженъ краномъ. Поднятіе и опусканіе поршня производится посредствомъ рычага (на рисункѣ справа), вслѣдствіе чего для выкачиванія воздуха требуется значительно меньшее усиліе, чѣмъ при непосредственномъ выдвиганіи поршня съ помощью ручки. Послѣ того какъ пріемникъ уже привинченъ, наливаютъ воду въ верхнюю воронку для того, чтобы лучше изолировать цилиндръ отъ доступа внѣшняго воздуха. Герике полагалъ, что съ помощью своего насоса онъ можетъ удалить изъ цилиндра весь воздухъ, такъ что тамъ не останется ни малѣйшей его доли, т.-е. будетъ абсолютная пустота. Но на повѣрку оказалось, что это не такъ. Когда, не открывая сначала крана, Герике отвинчивалъ сосудъ, изъ котораго, по его мнѣнію, воздухъ былъ удаленъ, и затѣмъ только, погрузивши его въ воду (трубочкой книзу), снова открывалъ кранъ, сосудъ быстро заполнялся, но не до конца: нѣкоторая часть, величиною съ орѣховое зерно, оставалась незаполненной—очевидно эта часть пространства была занята воздухомъ. Что все это такъ и должно быть, уяснить себѣ не трудно: вѣдь при каждомъ поднятіи поршня воздухъ въ пріемникѣ только разрѣжается, такъ что полнаго его удаленія достичь невозможно; выражаясь математически, для этого нужно сдѣлать безконечно много поднятій. Слѣдуетъ еще обратить вниманіе на то, что клапаны, равно какъ и поршень, пропускаютъ все же воздухъ и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ большаго разрѣженія мы достигли. Несомнѣнно, Герике и самъ понималъ это совершенно такимъ же образомъ, что явствуетъ изъ слѣдующихъ его словъ: „никогда нельзя удалить воздухъ вполнѣ, придавая этому выраженію строго математическій смыслъ; всѣ приспособленія смертныхъ съ математической точки зрѣнія несовершенны, такъ какъ механикъ руководится только указаніями математики". Въ этихъ словахъ сквозитъ сознаніе, что не все, возможное съ теоретической точки зрѣнія, дѣйствительно осуществимо на практикѣ.


163. Первый воздушный насосъ усовершенствованной формы.

Въ полученномъ при помощи воздушнаго насоса пустомъ пространствѣ Герике произвелъ цѣлый рядъ наблюденій. Онъ убѣдился, что колоколъ въ

безвоздушномъ пространствѣ не издаетъ звука, животныя въ немъ погибаютъ, изъ воды выдѣляются пузырьки воздуха, горящая свѣча тухнетъ, рыба вся надувается, потому что скопленный ея жабрами воздухъ расширяется, иногда даже выходитъ наружу. Онъ заставлялъ также воду подниматься вверхъ по трубочкѣ изъ глубокаго колодца и заполнять пустое пространство. Чтобы опредѣлить максимальную высоту поднятія, онъ помѣстилъ пріемникъ во второй этажъ своего дома, внизу же у самаго фундамента поставилъ сосудъ съ водой: вода поднялась доверху. Затѣмъ онъ перенесъ пріемникъ въ третій этажъ: повторилось то же самое. Когда же онъ ставилъ сосудъ еще этажемъ выше, вода останавливалась на нѣкоторомъ уровнѣ въ трубкѣ. По его наблюденіямъ это происходило при высотѣ поднятія въ 19—$19^1/_2$ магдебургскихъ локтей. Изъ этого Герике вполнѣ справедливо вывелъ слѣдующее заключеніе: „природа не терпитъ пустоты только потому, что атмосфера оказываетъ извѣстное давленіе, которое и заставляетъ воду подниматься по трубочкѣ и заполнять пустое пространство до тѣхъ поръ, пока атмосферное давленіе не будетъ уравновѣшено". Герике обнаружилъ также, что атмосферное давленіе съ теченіемъ времени не остается постояннымъ, а измѣняется въ зависимости отъ состоянія погоды. Имъ же былъ построенъ и первый предсказатель погоды. Въ 1660 г. во время сильнаго урагана ему удалось подмѣтить чрезвычайное пониженіе давленія: фигурка, указывающая состояніе погоды въ его приборѣ, опустилась почти до самаго нижняго дѣленія шкалы. Герике тотчасъ замѣтилъ, что вѣроятно гдѣ-нибудь неподалеку гроза: дѣйствительно черезъ два часа надъ Магдебургомъ пронесся сильный ураганъ. Кромѣ того Герике произвелъ опытъ, обнаруживающій вѣсомость воздуха: зная вѣсъ пріемника, наполненнаго воздухомъ, онъ взвѣшивалъ его вторично послѣ выкачиванія воздуха — получалось уменьшеніе вѣса. Наибольшей извѣстностью пользуется опытъ Герике съ магдебургскими полушаріями, произведенный имъ въ присутствіи государственныхъ сановниковъ и самого императора Фердинанда III въ засѣданіи Регенсбургскаго рейхстага, въ которомъ онъ принималъ участіе въ качествѣ перваго бургомистра Магдебурга. Для этого опыта имъ были заготовлены два пустыхъ внутри полушарія изъ мѣди съ діаметромъ въ $^{67}/_{100}$ магдебургскихъ локтей; края ихъ плотно приставали одинъ къ другому. Послѣ того какъ при помощи насоса воздухъ изъ нихъ былъ удаленъ, 8 лошадей, тянувшихъ за веревки по двумъ противоположнымъ направленіямъ, не могли сразу разъединить обѣ половинки и только, напрягши всѣ силы, наконецъ оторвали ихъ другъ отъ друга, причемъ произошелъ шумъ, какъ отъ ружейнаго выстрѣла.

Законъ Маріотта и Гей-Люссака. Изученіе законовъ газообразнаго состоянія тѣлъ на этомъ не остановилось. Вскорѣ оно получило дальнѣйшее развитіе, благодаря работамъ англійскаго ученаго Бойля и французскаго академика Маріотта, которые для своихъ выводовъ воспользовались трудами Торричелли и Герике. Бойль познакомился съ опытами Герике изъ сообщеній іезуитскаго патера Шотта, профессора физики въ Вюрцбургѣ. Опыты эти настолько его заинтересовали, что и самъ онъ рѣшилъ поработать далѣе въ томъ же направленіи. Бойль принадлежалъ къ числу ученыхъ разносторонне развитаго ума: будучи богословомъ, онъ посвящалъ также не мало времени изученію естественныхъ наукъ, и въ послѣдней области произвелъ особенно замѣчательныя опытныя изслѣдованія. Онъ между прочимъ нашелъ, что воздухъ, замкнутый въ короткомъ колѣнѣ U-образной трубки, сверху запаянномъ, уменьшается въ объемѣ, т.-е. сжимается пропорціонально увеличенію высоты ртути въ другомъ колѣнѣ. Отсюда онъ вывелъ законъ, что объемъ газа обратно пропорціоналенъ производимому на него давленію. Работы Бойля мало кому были извѣстны,

такъ что, когда тридцать лѣтъ спустя (1679 г.) парижскій академикъ Маріоттъ другимъ путемъ пришелъ къ открытію того же закона, онъ получилъ названіе по имени этого послѣдняго ученаго. Въ формулировкѣ закона Маріотта температура газа считается постоянной, если же она измѣняется, то и законъ измѣненія объема газа иной. Этотъ важный законъ былъ установленъ Гей-Люссакомъ (1778—1850 г.) и названъ также его именемъ, хотя еще задолго передъ тѣмъ товарищъ Маріотта, Амонтонъ, нашелъ (въ 1703 г.) зависимость между температурой и объемомъ газа, если упругость его остается постоянной, т.-е. производимое на него давленіе не мѣняется, но и эта работа прошла незамѣченной. Законъ Гей-Люссака гласитъ: при постоянномъ давленіи увеличеніе объема газа пропорціонально повышенію температуры. Далѣе Гей-Люссакъ нашелъ, что всѣ газы почти одинаково увеличиваются въ объемѣ и что это увеличеніе при измѣненіи температуры отъ 0° до 1°С оказывается равнымъ приблизительно 0,00375 первоначальнаго объема. Впослѣдствіи были получены болѣе точныя величины для различныхъ газовъ и при различныхъ температурахъ. Изъ приведеннаго только-что закона можно вывести слѣдствіе, что объемъ газа остается постояннымъ, если производимое на него давленіе растетъ пропорціонально температурѣ. Совокупность законовъ Маріотта и Гей-Люссака устанавливаетъ связь между температурой, объемомъ и давленіемъ опредѣленнаго количества газа.

Манометръ, вакуметръ и барометръ. Приборы, служащіе для измѣренія давленія воздуха или газа, если давленіе выше одной атмосферы, называются манометрами, если же давленіе значительно меньше — вакуметрами, для измѣренія же атмосфернаго давленія употребляются барометры.

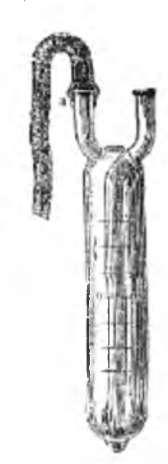
Изъ всѣхъ весьма разнообразныхъ системъ приборовъ, служащихъ для измѣренія давленія, наиболѣе простое устройство представляютъ манометры съ жидкостями и ртутные барометры, основанные на законѣ сообщающихся сосудовъ или вообще на законахъ гидростатики.

Если оба колѣна U-образной трубки (рис. 164) открыты, то жидкость устанавливается съ той и другой стороны на одинаковой высотѣ. Если же одно колѣно сообщимъ съ резервуаромъ, гдѣ находится сжатый воздухъ, или съ паровымъ котломъ, то съ этой стороны жидкость будетъ испытывать бо́льшее давленіе. Въ этомъ колѣнѣ уровень жидкости будетъ понижаться, а въ другомъ повышаться до тѣхъ поръ, пока столбъ жидкости съ высотой, равной разстоянію между уровнями ея въ обоихъ колѣнахъ, не уравновѣситъ производимаго давленія. Положимъ, въ одномъ колѣнѣ давленіе въ два раза превышаетъ атмосферное, тогда разность высотъ, если трубка наполнена водой, достигнетъ 10,33 м., если же въ трубкѣ находится ртуть, — только 76 см. Какъ уже мы имѣли случай говорить, въ техникѣ подъ давленіемъ одной атмосферы разумѣютъ давленіе въ 1 кгр. на 1 кв. см., и надо при этомъ замѣтить, что, когда измѣряютъ давленіе въ атмосферахъ, то обыкновенно указываютъ лишь перевѣсъ надъ атмосфернымъ давленіемъ, а не абсолютное давленіе (т.-е. когда принимается, что 0 давленія соотвѣтствуетъ абсолютной пустотѣ надъ газомъ). Такъ что, если говорятъ: паръ находится подъ давленіемъ 4 атмосферъ, это значитъ, что давленіе его на 4 кгр. превышаетъ атмосферное давленіе. Иногда прямо для обозначенія давленія называютъ высоту уравновѣшивающей его ртутной или водяной колонны. Вмѣсто того, чтобы сказать давленіе 2-хъ атмосферъ, говорятъ давленіе 20 м. (разумѣя водяной манометръ) или 152 см. (считая по ртутному манометру). Въ особенности часто употребляютъ подобныя выраженія, когда рѣчь идетъ о разрѣженномъ парѣ или газѣ. Такъ напримѣръ, никогда не говорятъ, что паръ подверженъ половинному давленію атмосферы, а

просто: давленіе пара 38 см. (по ртутному манометру). Для измѣренія давленія разрѣженнаго газа, а также вообще для измѣренія низкихъ давленій, удобно пользоваться манометромъ простѣйшаго устройства, съ двумя открытыми колѣнами (рис. 164). По шкалѣ съ дѣленіями масштаба можно прямо прочесть, каково давленіе газа. Подобнаго устройства манометры, наполняемые какой-нибудь подкрашенной жидкостью, очень часто можно встрѣтить на газовыхъ заводахъ. Они имѣются почти у каждаго аппарата съ газомъ низкаго давленія. Когда, отмѣчая показанія такого прибора, говорятъ: давленіе газа равно 80 мм, это значитъ, что упругостью газа можно уравновѣсить столбъ воды, высотою 80 мм.

Манометрамъ, служащимъ для измѣренія низкихъ давленій, придаютъ иногда еще нѣсколько иное устройство, указанное на рисункѣ 165: въ широкую трубку впаяна другая, узкая, въ нижней части которой дѣлается отверстіе, такъ что обѣ трубки сообщаются между собой; широкая трубка находится кромѣ того въ сообщеніи съ аппаратомъ, содержащимъ газъ, для чего отъ нея отходитъ каучуковая трубочка, узкая же сверху открыта, такъ что, когда приборъ заполненъ жидкостью, давленіе надъ поверхностью ея въ этой трубкѣ равно атмосферному. Нанесенная на трубкѣ шкала даетъ возможность опредѣлить, насколько давленіе газа превышаетъ или не доходитъ до атмосфернаго.

Для опредѣленія давленія пара въ холодильникѣ конденсаціонныхъ машинъ употребляются ртутные вакуметры. Одинъ изъ такихъ приборовъ изображенъ на рис. 166. Стеклянная трубочка опущена въ закрытый сосудъ со ртутью, вверху котораго дѣлается лишь небольшое отверстіе для сообщенія съ внѣшнимъ воздухомъ. Если сообщимъ стеклянную трубочку съ холодильникомъ, то вслѣдствіе существующаго тамъ разрѣженія ртуть изъ сосуда станетъ подниматься вверхъ, и, отмѣчая высоту поднятія, мы опредѣлимъ степень разрѣженія. Замѣнять ртуть водою здѣсь не представляется удобнымъ, такъ какъ тогда, при давленіи напримѣръ въ 65 см. (по ртутному вакуметру), вода поднималась бы на высоту $8^1/_2$ м. Тѣми же самыми приборами измѣряютъ тягу дымовыхъ трубъ, но здѣсь давленіе столь незначительно, что нѣтъ надобности наполнять вакуметръ ртутью: тягу всегда опредѣляютъ высотою водяной колонны. Вмѣсто бьющихся стеклянныхъ трубокъ для манометровъ съ жидкостями употребляются нерѣдко металлическія трубки (желѣзныя). Для того, чтобы замѣтить повышеніе уровня, устраиваютъ особый поплавокъ. Такая конструкція прибора изображена на рис. 167. При помощи нижняго отростка трубки производится впускъ газа, давленіе котораго требуется опредѣлить. На поверхности ртути въ трубкѣ плаваетъ поплавокъ; каждое повышеніе или пониженіе поплавка посредствомъ шнура, перекинутаго черезъ блокъ, передается указателю, движущемуся по шкалѣ; но, такъ какъ этотъ указатель при увеличеніи давленія опускается, а поднимается, когда давленіе уменьшается, то цифры дѣленія шкалы должны идти въ обратномъ порядкѣ (сверху внизъ).

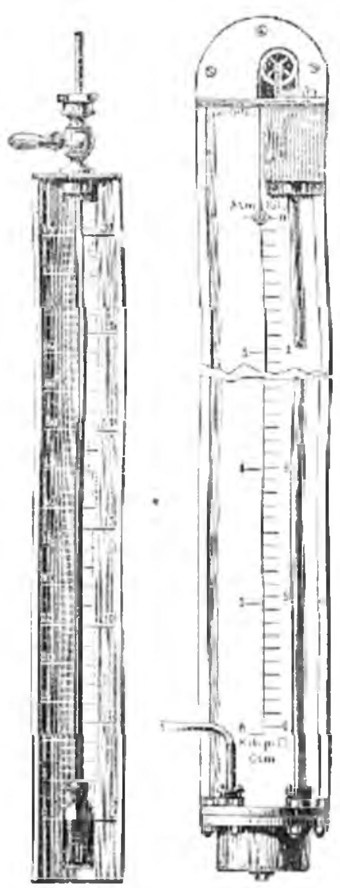


164. Обыкновенный манометръ.

165. Манометръ для газовыхъ заводовъ.

Ртутные барометры, служащіе для измѣренія и наблюденія колебаній атмосфернаго давленія, будутъ описаны позднѣе въ одной изъ слѣдующихъ частей курса въ связи съ измѣрительными приборами и методами измѣреній метеорологіи.

Въ техникѣ приходится часто имѣть дѣло съ высокими давленіями, доходящими до 6—8 атмосферъ. Такова напримѣръ величина давленія въ паровомъ котлѣ. Въ этихъ случаяхъ открытыя съ обоихъ концовъ трубки оказываются непригодны, такъ какъ, заполняя ихъ даже ртутью, пришлось бы наблюдать слишкомъ высокое поднятіе жидкости. Законъ Маріотта и здѣсь можетъ оказать помощь. Закроемъ колѣно манометра, сообщаемое съ внѣшнимъ воздухомъ, тогда, по мѣрѣ поднятія жидкости въ этомъ колѣнѣ, заключенный надъ ней воздухъ станетъ сжиматься, причемъ объемъ его будетъ уменьшаться пропорціонально увеличенію давленія. Если, положимъ, высота столба воздуха въ запаянномъ колѣнѣ, когда онъ еще не былъ подвергнутъ давленію (точнѣе, когда онъ находился подъ атмосфернымъ давленіемъ), равнялась 20 см., то, при увеличеніи давленія на одну атмосферу, высота эта уменьшится въ два раза, т. е. будетъ равна 10 см.; при давленіи въ двѣ атмосферы (абсол. давленіе 3 атм.) она уменьшится до $6^2/_3$ см., при 3 атмосферахъ до 5 см. и т. д.; но все это вѣрно только до нѣкоторой степени, такъ какъ слѣдуетъ принять во вниманіе, что поднимающаяся вверхъ жидкость тоже отчасти уравновѣшиваетъ производимое давленіе. При градуированіи шкалы описываемаго прибора это всегда имѣется въ виду, такъ что вытравленныя на ней цифры прямо обозначаютъ давленіе въ атмосферахъ. Верхнія дѣленія шкалы по мѣрѣ увеличенія давленія будутъ становиться все мельче и мельче и, такъ какъ жидкость никогда не поднимется доверху, то съ точки зрѣнія теоріи такой приборъ допускаетъ измѣреніе сколь угодно высокаго давленія, но на практикѣ этому конечно положенъ извѣстный предѣлъ, въ зависимости отъ прочности стекла.

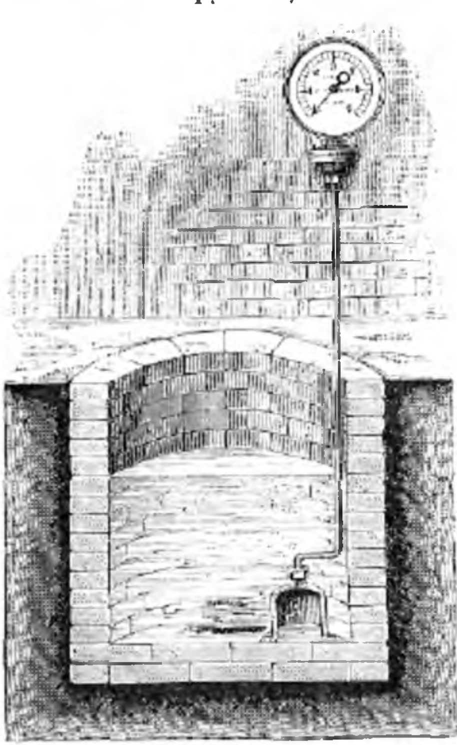


166. Ртутный вакуметръ. 167. Манометръ съ поплавкомъ.

Также на примѣненіи закона Маріотта основано устройство очень простого и въ то же время весма удобнаго прибора, позволяющаго слѣдить за колебаніемъ уровня воды въ удаленномъ бассейнѣ. Приборъ этотъ носитъ названіе гидрометра; онъ изображенъ на рисункѣ (168). На дно бака, колодца или какого-либо резервуара съ водой осторожно погружаютъ открытый снизу колоколъ A такъ, чтобы, когда онъ опустится до дна, подъ нимъ находился еще воздухъ; сверху отъ этого колокола отходитъ трубочка, соединяемая съ манометромъ. Вода сжимаетъ воздухъ подъ колоколомъ, въ силу производимаго ею давленія, а такъ какъ это давленіе измѣняется съ повышеніемъ или пониженіемъ уровня, то всякое малѣйшее колебаніе будетъ отзываться измѣненіемъ упругости воздуха подъ колоколомъ, что и будетъ указываться манометромъ, шкала котораго градуируется соотвѣтствующимъ образомъ, такъ что всегда можно прочесть, какъ высоко стоитъ вода. На рисункѣ представленъ манометръ со стрѣлкой, но конечно онъ можетъ быть замѣненъ и ртутнымъ. Для того, чтобы показанія были точны, необходимо чтобы соединительная трубка совершенно не пропускала воздуха, иначе онѣ конечно будутъ ошибочны.

Вмѣсто только-что описанныхъ манометровъ съ жидкостями и воздуш-

ныхъ манометровъ, уже съ давнихъ поръ употребляются нерѣдко металлическіе манометры. Послѣдніе бываютъ двухъ родовъ. У однихъ главную часть составляетъ тонкостѣнная согнутая трубочка, при повышеніи давленія выпрямляющаяся, а при уменьшеніи еще болѣе сгибающаяся. Эти манометры обыкновенно называются **манометрами Бурдона**, хотя по справедливости честь этого изобрѣтенія не принадлежитъ Бурдону, такъ какъ его манометръ представляетъ только нѣсколько измѣненную конструкцію прибора, изобрѣтеннаго нѣмецкимъ инженеромъ **Шинцемъ**. Главную часть манометра Бурдона (рис. 169), какъ сказано, составляетъ согнутая въ кружокъ металлическая трубочка, заключенная въ коробку; одинъ конецъ ея (правый) запаянъ, другой проходитъ насквозь черезъ оправу прибора и сообщается съ паровымъ котломъ или вообще съ аппаратомъ, въ которомъ хотятъ опредѣлить давленіе газа; этотъ конецъ *трубки такимъ образомъ долженъ быть* укрѣпленъ неподвижно, другой же по-



168. Гидрометръ.

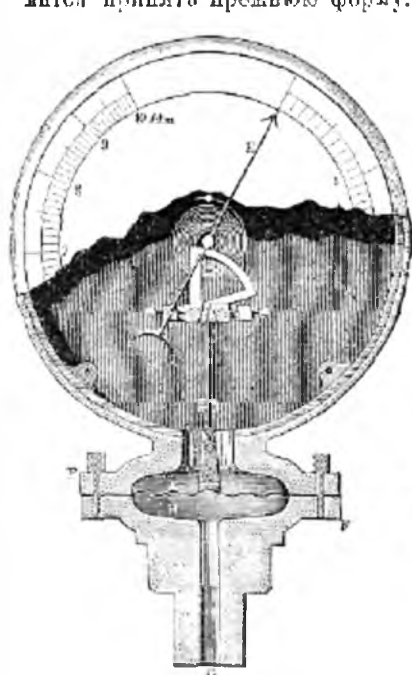


169. Металлическій манометръ Бурдона.

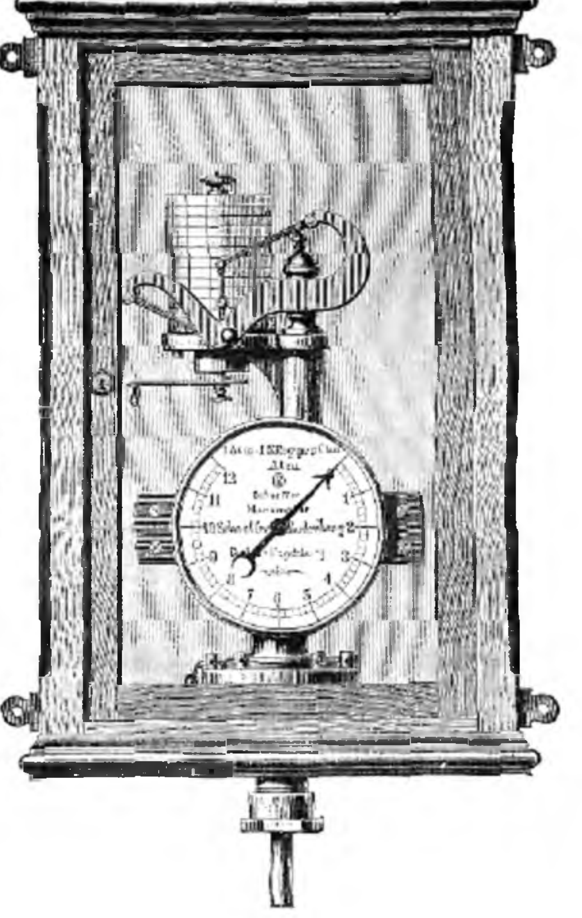
средствомъ стерженька скрѣпляется съ легкимъ удобоподвижнымъ рычагомъ; верхній конецъ рычага представляетъ изъ себя часть кругового сектора съ зубцами; при вращеніи сектора зубцы его захватываютъ зубцы небольшого колесика, насаженнаго на центральную ось указателя (длинной стрѣлки). Сзади указателя находится кругъ съ дѣленіями, подобный циферблату часовъ. Когда воздухъ въ трубкѣ не подверженъ давленію, указатель стоитъ на нулѣ, если же сообщимъ приборъ съ трубопроводомъ высокаго давленія, трубка будетъ выпрямляться, потянетъ рычагъ, тотъ передастъ движеніе указателю, стрѣлка котораго повернется справа налѣво и укажетъ величину производимаго давленія. При уменьшеніи давленія стрѣлка будетъ двигаться въ обратномъ направленіи. Такова же совершенно конструкція анероиднаго барометра Бурдона, но, такъ *какъ колебанія атмосфернаго давленія не такъ значительны,* какъ колебанія, измѣряемыя манометромъ, предназначеннымъ для высокихъ давленій, то, конечно, приборъ этотъ долженъ обладать большей чувствительностью.

Другую конструкцію представляетъ манометръ нѣмецкаго инженера **Шефера**, устроенный по образцу анероиднаго барометра Види. Здѣсь паръ

давить на металлическую подвижную пластинку. Для объясненія конструкціи прибора приведенъ рисунокъ 170. Въ той части прибора, гдѣ онъ соединяется съ трубкою *G*, въ которую вводится паръ, дѣлается эллипсоидальная выемка. Въ разрѣзъ между двумя составными частями *F* вкладывается тоненькая металлическая плоеная пластинка, такъ чтобы воздухъ не могъ проникать изъ одного отдѣленія въ другое. Отдѣленіе *A* находится въ сообщеніи съ верхнимъ ящикомъ манометра и съ наружнымъ воздухомъ, снизу же въ отдѣленіе *H*, какъ сказано, поступаетъ паръ. Подъ давленіемъ пара пластинка вслѣдствіе своей упругости выправляется болѣе или менѣе въ зависимости отъ величины производимаго давленія. При уменьшеніи давленія пластинка стремится принять прежнюю форму.



170. Металл. манометръ Шеффера.



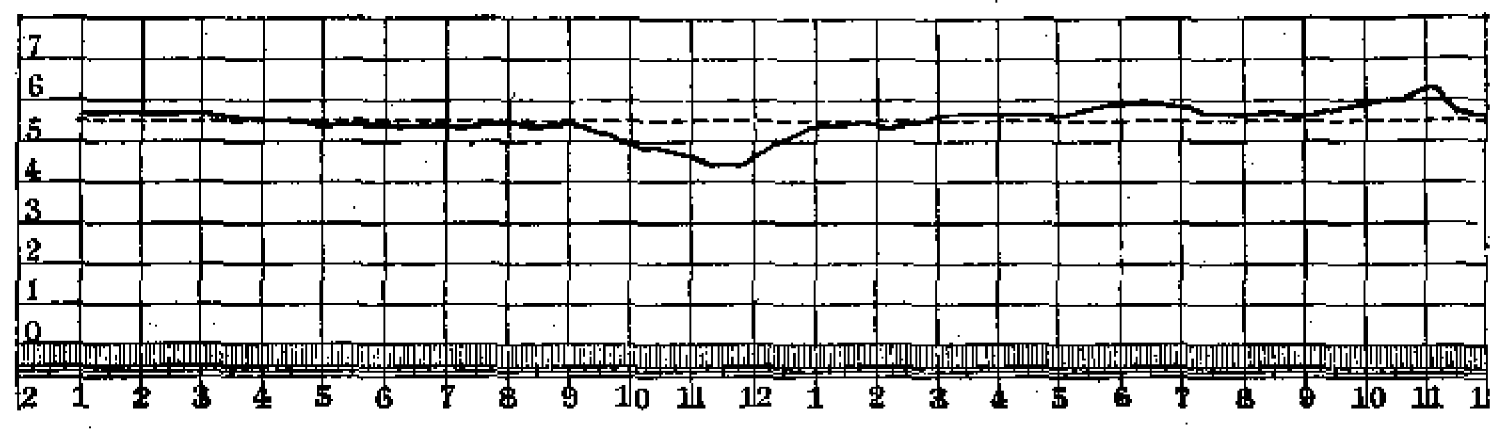
171. Самопишущій манометръ.

Колебанія ея, какъ и раньше, посредствомъ стерженька и сектора съ зубцами передаются указателю.

Металлическими манометрами пользуются съ удобствомъ не только для измѣренія давленія воздуха или пара, но также и для измѣренія давленія воды въ городскихъ водопроводахъ и тому подобныхъ сооруженіяхъ.

Сравнительно недавно изобрѣтены изящные и весьма удобные манометры, дающіе графику измѣненія давленія за извѣстный промежутокъ времени. На рисункѣ 171 представленъ самопишущій металлическій манометръ Шеффера и Бундберга въ Буккау-Магдебургѣ. Нижняя часть устроена такъ же, какъ и у всѣхъ другихъ металлическихъ манометровъ: въ самомъ низу видна трубка, посредствомъ которой мы соединяемъ приборъ съ резервуаромъ, содержащимъ паръ, воздухъ или воду подъ извѣстнымъ давленіемъ. Вверху

на подставкѣ, къ которой прикрѣплена коробка манометра, устанавливается вертикально полый металлическій цилиндръ (барабанъ), вращающійся около центральной неподвижной оси. Барабанъ приводится въ движеніе часовымъ механизмомъ, причемъ по большей части онъ дѣлаетъ полный оборотъ ровно въ 24 часа. Снаружи онъ обернутъ бумажной лентой (рис. 172, она представлена въ большемъ масштабѣ), раздѣленной вертикальными чертами на 24 равныя части. Внизу обозначено, какому часу дня или ночи соотвѣтствуетъ каждая черта. На той же бумажкѣ проведены горизонтальныя прямыя, равно отстоящія одна отъ другой. Движенія системы рычаговъ, заключенной внутри коробки манометра, сообщаются посредствомъ штанги, проходящей внутри металлической колонны, тоненькому рычажку (который виденъ на рисункѣ). Къ этому рычажку прикрѣпленъ на шарнирахъ вертикальный болтикъ, связанный съ напрягающимъ механизмомъ, дозволяющимъ ему *опускаться и подниматься соотвѣтственно движенію главнаго рычага, но не* допускающимъ отклоненія въ сторону. Къ болтику въ серединѣ придѣлывается шпенекъ для отмѣтки показаній прибора дѣйствіемъ небольшой пру*жинки или же посредствомъ другого приспособленія слегка надавливающій* на барабанъ. Шпенекъ этотъ устроивается или въ формѣ самой тоненькой стеклянной трубки съ оттянутымъ кончикомъ, соединяемой со стекляннымъ



172. **Діаграмма пишущаго манометра.**

наперсткомъ, въ который наливаются чернила, чаще же это просто острый металлическій штифтикъ. Въ послѣднемъ случаѣ для ленты употребляется особая бумага, на которой шпенекъ проводитъ вполнѣ явственную линію, какъ будто начерченную карандашемъ. Самопишущій приборъ дѣйствуютъ слѣдующимъ образомъ. При вращеніи барабана штифтъ все время нажимаетъ на ленту и, если онъ въ теченіе сутокъ былъ неподвиженъ, то на лентѣ останется слѣдъ горизонтальной прямой во всю ея ширину. Если же манометръ приведенъ въ дѣйствіе, т.-е. въ нижнюю трубку впущенъ паръ, то по мѣрѣ увеличенія давленія штифтъ будетъ подниматься. Разстоянія между горизонтальными чертами на лентѣ расчитаны такимъ образомъ, *чтобы при увеличеніи давленія на атмосферу штифтъ поднимался на одно* дѣленіе. При давленіи пара, положимъ въ 4 атмосферы, онъ остановится на четвертомъ дѣленіи. Штифтъ аккуратно слѣдитъ за всякимъ колебаніемъ давленія и вычерчиваетъ на плавно *вращающемся валикѣ нѣкоторую кривую.* Если давленіе пара все время было $5^1/2$ атмосферъ, то штифтъ начертитъ прямую, обозначенную на лентѣ пунктиромъ. Это такъ называемая „прямая нормальнаго давленія въ паровомъ котлѣ“. Конечно, если паръ не подверженъ давленію, штифтъ долженъ стоять на нулѣ. Каждый день, положимъ, въ 6 часовъ утра, валикъ устанавливается такимъ образомъ, чтобы штифтъ приходился противъ вертикальной прямой, обозначенной цифрой 6. По прошествіи сутокъ на снятой съ валика лентѣ можно будетъ прочесть, какой величины достигало давленіе въ любой моментъ за истекшій промежутокъ времени. На рисункѣ кривая, начерченная приборомъ, обведена

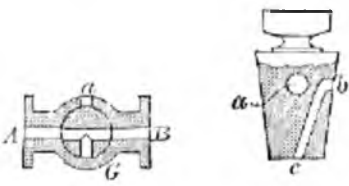
крупнымъ штрихомъ. Изъ приведенной графики видно, что около 11 часовъ вечера, нѣкоторое очень короткое время давленіе превосходило допустимый еще максимумъ 6 атмосферъ. Значитъ, сторожъ не услѣдилъ и можетъ такимъ образомъ подвергнуться отвѣту, благодаря показанію этого неподкупнаго нѣмого и безусловно вѣрнаго свидѣтеля. Въ дообѣденное время 10—12 давленіе было значительно ниже средняго ($5^1/_2$ атм.). Если это не можетъ быть объяснено какими-либо измѣненіями внутри котла, то, значитъ, слѣдуетъ винить истопника: должно-быть, онъ не подложилъ вовремя топлива. Изъ сказаннаго видно, съ какой цѣлью можетъ быть примѣненъ описанный приборъ; онъ вполнѣ пригоденъ для контроля кочегаровъ, для изслѣдованія измѣненія давленія воды въ водопроводныхъ трубахъ въ теченіе сутокъ. Чаще всего онъ примѣняется для послѣдней цѣли.

Воздушные насосы новѣйшаго устройства. Послѣ Отто фонъ-Герике воздушный насосъ подвергался многимъ усовершенствованіямъ какъ относительно принципа дѣйствія, такъ и качества выдѣлки самаго прибора. Нужно различать два рода насосовъ: поршневый (всасывающій) насосъ и вытяжной (чаще всего ртутный), построенный по принципу Торричелли. Поршневые насосы устроиваются съ кранами и съ клапанами. Насосъ Герике принадлежитъ къ первому типу (насосъ съ краномъ). Клапаны воздушныхъ насосовъ обыкновенно представляютъ то же устройство, что и клапаны водяныхъ насосовъ. Такъ же точно одинъ изъ нихъ помѣщается въ нижней части цилиндра (вводящій), другой въ самомъ поршнѣ насоса (выводящій).

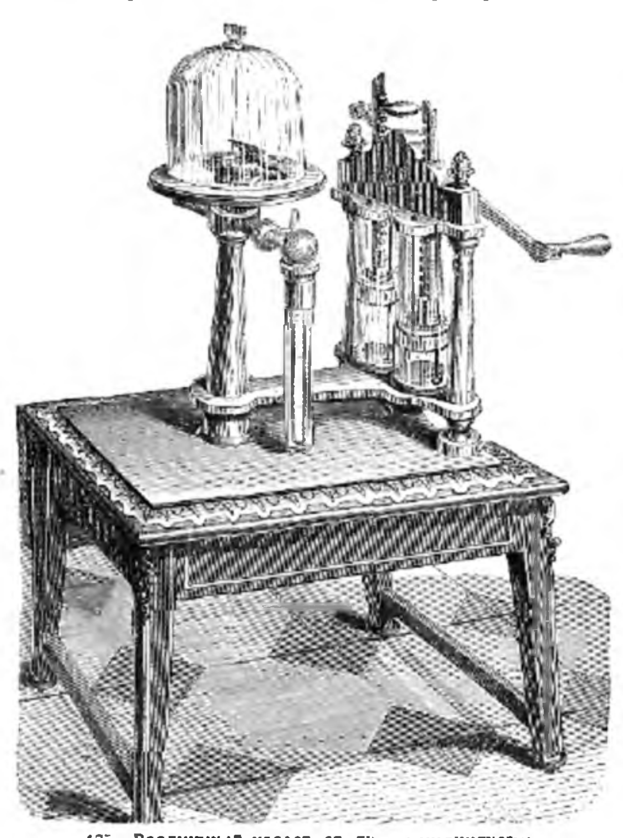
Чтобы не дѣлать особаго отверстія, черезъ которое выходитъ воздухъ при выдвиганіи поршня въ насосѣ Герике, устроивается особый кранъ о трехъ ходахъ, изображенный на рисункѣ 173 въ поперечномъ разрѣзѣ. Въ гнѣздѣ крана *G* кромѣ главнаго протока дѣлается еще сбоку выводное отверстіе *a*, посредствомъ котораго внутренность прибора можно сообщать съ внѣшней атмосферой. Точно также въ пробкѣ крана перпендикулярно главному сквозному каналу просверливается боковой каналъ въ половину ея толщины. Пусть протокъ *A* ведетъ къ пріемнику, протокъ *B* къ цилиндру насоса; въ томъ положеніи, какъ на рисункѣ, при выдвиганіи поршня воздухъ изъ пріемника будетъ высасываться (каналъ *a* закрытъ). Прежде, чѣмъ вдвигать поршень, повертываютъ кранъ на $^1/_4$ оборота влѣво, вслѣдствіе чего проходъ въ пріемникъ будетъ закрытъ, а цилиндръ сообщенъ съ внѣшней атмосферой, такъ что при вдвиганіи поршня воздухъ изъ него будетъ свободно выходить наружу. То же самое можетъ быть достигнуто и при употребленіи крана, изображеннаго на рисункѣ 174. Каналъ *a* служитъ для сообщенія пріемника съ цилиндромъ, узкій же боковой протокъ *bc* при поворачиваніи ручки крана на 45° сообщаетъ цилиндръ съ внѣшней атмосферой.

Съ давнихъ поръ уже вошли въ употребленіе насосы съ двумя цилиндрами. Внѣшній видъ такого прибора представленъ на рисункѣ 175. Цилиндры насосовъ бываютъ и металлическіе, но чаще ихъ дѣлаютъ стеклянными, какъ на рисункѣ, для того, чтобы видны были внутреннія части прибора. Оба цилиндра сообщаются каналомъ съ пріемникомъ (стекляннымъ колоколомъ) насоса. Каналъ этотъ на рисункѣ не виденъ: онъ проходитъ подъ металлической доской и далѣе идетъ внутри колонны, поддерживающей подставку для колокола. Стержни поршня снабжены зубчаткой; вращая то въ ту, то въ другую сторону, при помощи качалки, зубчатое колесико, соприкасающееся съ обѣимъ зубчатками, мы будемъ двигать поршни обоихъ насосовъ въ обратномъ (другъ другу) направленіи: когда одинъ изъ нихъ станетъ подниматься, другой начнетъ опускаться, такъ что описываемый приборъ является насосомъ двойного дѣйствія. Пріемникъ насоса по большей

части представляетъ изъ себя стеклянный колоколъ съ гладко отшлифованными краями; подставка также должна быть вполнѣ гладкой; передъ выкачиваніемъ воздуха края колокола смазываютъ саломъ и затѣмъ, вращая нѣсколько, придавливаютъ къ подставкѣ: все это дѣлается для того, чтобы не было сообщенія съ внѣшнимъ воздухомъ. Насосъ будетъ дѣйствовать тѣмъ лучше, чѣмъ плотнѣе закрываются всѣ клапаны и кранъ; кромѣ того слѣдуетъ еще принять во вниманіе вліяніе такъ называемыхъ „вредныхъ пространствъ". Подъ этимъ терминомъ разумѣютъ то небольшое пространство, которое остается между входомъ въ пріемникъ и поршнемъ, когда послѣдній вдвинутъ до конца; устранить существованіе вредныхъ пространствъ совершенно невозможно, въ особенности при пользованіи насосомъ съ клапанами; происходящій вслѣдствіе этого недостатокъ очевиденъ: при каждомъ выдвиганіи поршня, какъ только клапанъ пріемника откроется, туда станетъ входить воздухъ, скопившійся во вредныхъ пространствахъ.



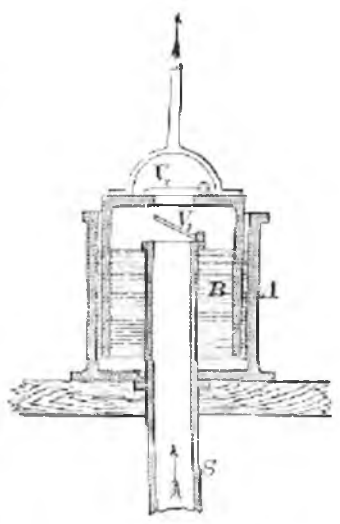
173 и 174. Кранъ съ тремя каналами.


175. Воздушный насосъ съ двумя цилиндрами.

Для измѣренія упругости воздуха подъ колоколомъ насоса изображенный на рисункѣ приборъ *снабженъ ртутнымъ вакуметромъ*.

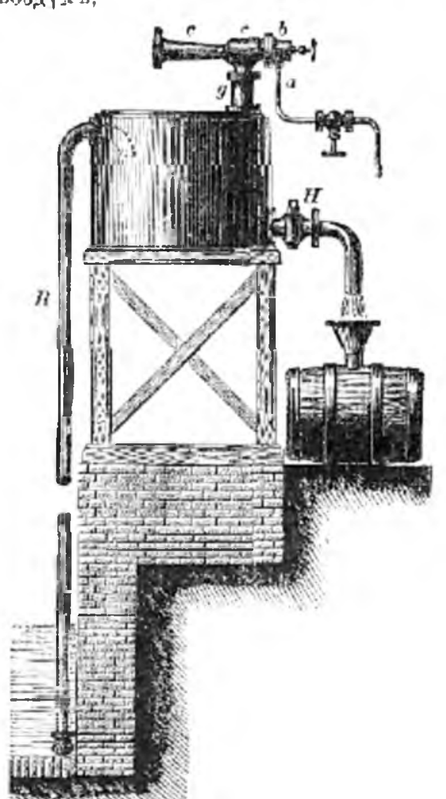
Къ числу также довольно старинныхъ приборовъ нужно отнести между *прочимъ насосъ*, употребляемый въ горномъ дѣлѣ для вентиляціи шахтъ и штоленъ; въ рудникахъ на Гарцѣ имѣется много такихъ *насосовъ. Въ основу устройства положенъ тотъ же принципъ*, что и у ртутныхъ насосовъ, именно разрѣженіе воздуха. Схема прибора изображена на рисункѣ 176. *A* — это массивный, налитый водою сосудъ, сверху открытый. Въ него погруженъ другой сосудъ *B* меньшихъ размѣровъ, котораго верхняя часть соединена съ балансиромъ или другимъ какимъ-либо рычагомъ, приводимымъ въ движеніе *машиной* такъ, *чтобы сосудъ все время то подымался*, то опускался, никогда не касаясь дна сосуда *A*, и никогда не выходя изъ воды. Рычагъ, опускающій и поднимающій сосудъ *B*, можетъ въ то же время совершать и другую какую-нибудь работу: двигать поршень и т. п. Черезъ дно сосуда *A* проходитъ трубка *S*, выступающая надъ поверхностью воды; вверху она *снабжена* створчатымъ клапаномъ V_1; въ крышкѣ

сосуда B находится другой точно такой же створчатый клапанъ V_2. Оба клапана открываются кверху. Трубка S опускается въ штольню, изъ которой хотятъ удалить дурной воздухъ. При подняти сосуда B воздухъ надъ водой разрѣжается, вслѣдствіе чего дурныя испаренія въ штольнѣ устремятся вверхъ по трубкѣ S, и станутъ заполнять разрѣженное пространство, проникая въ него черезъ клапанъ V_1. При опусканіи колокола B клапанъ этотъ закроется, за то откроется клапанъ V_2, черезъ который скопившіеся газы станутъ выходить наружу.



176. Насосъ съ водянымъ резервуаромъ.

Описанные въ предыдущей главѣ пульверизаціонные приборы также во многихъ случаяхъ вполнѣ цѣлесообразно употребляются въ качествѣ воздушныхъ насосовъ. Для объясненія дѣйствія прибора можно воспользоваться схемой, представленной на рисункѣ 143. Всѣ части прибора совершенно таковы же, разница только въ томъ, что по входящей трубкѣ поднимается воздухъ, а не вода. Дѣйствіе насоса настолько совершенно, что при помощи его можно достигнуть почти полнаго удаленія воздуха. Приборы этого типа получили названіе эжекторовъ. Чаще всего ими пользуются для наполненія центробѣжныхъ насосовъ. Для этой цѣли ихъ помѣщаютъ въ верхней части коробки насоса и удаленіемъ изъ нея воздуха достигаютъ того, что вода поднимается по входящей трубкѣ въ насосъ. Когда насосъ окажется наполненнымъ, эжекторъ можно убрать и привести приборъ въ дѣйствіе. Кромѣ этого эжекторы употребляются для наполненія сифоновъ, длинныхъ всасывающихъ трубокъ насосовъ, для удаленія воздуха изъ регуляторовъ и т. п. Здѣсь такъ же, какъ и раньше, для приведенія въ дѣйствіе пульверизаціоннаго аппарата можно воспользоваться водянымъ паромъ, сжатымъ воздухомъ или давленіемъ воды. Эжекторы употребляются въ промышленности съ весьма различными цѣлями, главнымъ образомъ для выкачиванія тинистыхъ и илистыхъ жидкостей, смѣшанныхъ съ пескомъ и мелкими камушками, гдѣ поршневые насосы непригодны, потому что скоро засоряются. Удобно пользоваться эжекторами, когда имѣемъ дѣло съ кислотами и ѣдкими щелочами, разъѣдающими металлическіе цилиндры. Элеваторъ здѣсь непригоденъ потому, что не выдерживаетъ сильнаго нагрѣванія, съ чѣмъ также иногда приходится считаться. Эжекторомъ же можно вогнать жидкость въ какой угодно замкнутый сосудъ, разрѣжая въ немъ воздухъ. Поднимаясь вверхъ по трубкѣ G,



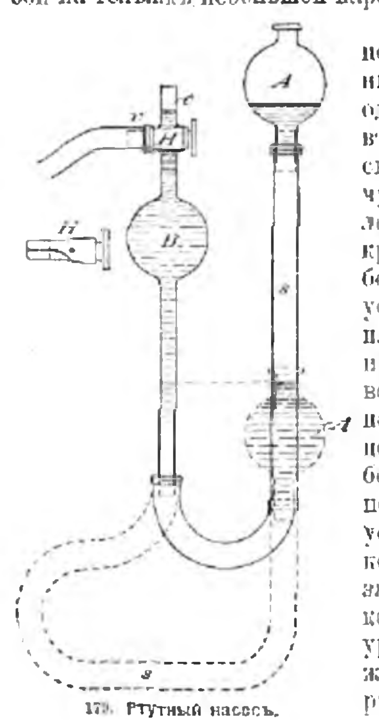
177. Пароструйный насосъ.

жидкость станетъ заполнять бакъ, изъ котораго можетъ быть выпущена черезъ кранъ *П* (см. рис. 177). Желѣзный сосудъ и трубка *g*, на которую насаженъ эжекторъ *c*, должны быть хорошо изолированы отъ доступа внѣшняго воздуха. Дѣйствующій паръ поднимается по узкой трубкѣ *a*, проходитъ по пути черезъ отверстіе *b*, съ регулирующимъ клапаномъ, и выходитъ наружу черезъ раструбъ *e*, увлекая за собой воздухъ изъ сосуда.



178. Примѣненіе пароструйнаго насоса къ очисткѣ выгребныхъ ямъ.

Описанное устройство можетъ быть съ удобствомъ примѣнено какъ способъ удаленія нечистотъ, если имѣется въ распоряженіи паровой котелъ. Такимъ образомъ устраняются неудобства, связанныя съ этой непріятной работой. При помощи эжектора очистка выгребныхъ ямъ производится довольно быстро. На рисункѣ 178 изображено примѣненіе его въ этомъ случаѣ. Въ большихъ городахъ ассенизаторы постоянно возятъ съ собой на телѣжкѣ небольшой паровой котелъ для приведенія въ дѣйствіе эжектора.



179. Ртутный насосъ.

Ртутные насосы. Опыты Торричелли послужили основаніемъ для устройства ртутныхъ насосовъ. На рисункѣ 179 изображенъ одинъ изъ простѣйшихъ насосовъ этого типа въ схематическомъ видѣ. Стеклянный баллонъ *A*, сверху открытый, соединяется при помощи каучуковой трубки *s* съ другимъ стекляннымъ баллономъ *B*; горлышко баллона *B* вверху снабжено краномъ о трехъ ходахъ *H*, съ притертой пробочкой, посредствомъ котораго можетъ быть устроено сообщеніе или съ внѣшнимъ воздухомъ или съ пріемникомъ черезъ трубку *c* (тогда нѣтъ сообщенія съ внѣшней атмосферой). Прежде всего, поставивъ кранъ въ первое положеніе, поднимаютъ сосудъ *A* вверхъ и подливаютъ въ него ртути до тѣхъ поръ пока уровень ея въ трубочкѣ *C* не дойдетъ до самаго крана, затѣмъ, повернувъ послѣдній, въ другое положеніе, т.-е. установивъ сообщеніе между сосудомъ *B* и трубкой *c*, сосудъ *A* опускаютъ книзу (какъ обозначено на рисункѣ пунктиромъ); при этомъ конечно по закону сообщающихся сосудовъ уровень ртути въ лѣвомъ колѣнѣ также долженъ понизиться, надъ нимъ образуется Торричелліева пустота, вслѣдствіе чего въ пріемникѣ произойдетъ разрѣженіе воздуха. Послѣ этого снова повертываютъ кранъ въ прежнее положеніе; какъ раньше, поднимаютъ сосудъ *A* и выгоняютъ воздухъ, вышедшій изъ пріемника въ баллонъ *B*. Подобную операцію продѣлываютъ нѣсколько разъ. Изъ всего описаннаго не трудно видѣть, въ чемъ заключаются преимущества ртутныхъ

насосовъ передъ поршневыми: здѣсь устранено вліяніе вредныхъ пространствъ, здѣсь, кромѣ крана, нѣтъ подвижныхъ частей, требующихъ тщательной изолировки отъ доступа внѣшняго воздуха. Поэтому работа такого насоса гораздо совершеннѣе, но за то и дѣйствуетъ онъ медленнѣе. По мѣрѣ достиженія высшей степени разрѣженія начинаетъ происходить отдѣленіе паровъ ртути, упругость которыхъ впрочемъ не велика. Такъ при температурѣ 0° C давленіе ихъ соотвѣтствуетъ 0,001 мм. ртутной колонны. Ртутные насосы примѣняются тогда, когда въ нѣкоторомъ небольшомъ пространствѣ требуется получить возможно большее разрѣженіе воздуха, т.-е. достигнуть почти абсолютной пустоты. При помощи ртутныхъ насосовъ новѣйшей конструкціи можно добиться разрѣженія въ 0,005 милліонныхъ долей атмосферы, что соотвѣтствуетъ ртутной колоннѣ въ 0,000,004 мм. высотой; это значитъ, что въ опредѣленномъ объемѣ будетъ содержаться $\frac{1}{200\,000\,000}$ доля первоначальнаго вѣсового количества воздуха. Дѣйствуя же обыкновенными поршневыми насосами, достигаютъ разрѣженія въ 1200 милліонныхъ долей атмосферъ, т.-е. въ 1 мм. ртутной колонны, и только самые совершенные насосы этого рода могутъ дать разрѣженіе въ 0,1 мм.

На рисункѣ изображена схема насоса извѣстнаго боннскаго фабриканта Гейслера, построеннаго имъ впервые въ 1857 г. Впослѣдствіи конструкція прибора подверглась нѣкоторымъ измѣненіямъ, клонившимся къ тому, чтобы ускорить производство всѣхъ манипуляцій и вообще сдѣлать обращеніе съ нимъ болѣе удобнымъ. Въ насосѣ Серраваля имѣются два подвижныхъ баллона и два крана, при этомъ когда одинъ баллонъ поднимается, другой опускается; краны повертываются сами собой, и пріемникъ оказывается соединеннымъ все время то съ однимъ выкачивающимъ аппаратомъ, то съ другимъ, такъ что воздухъ изъ него удаляется непрерывно. Своеобразную конструкцію имѣетъ насосъ Тёплера (и Менделѣева): въ немъ вовсе нѣтъ крановъ, и, когда нужно, ртуть сама закрываетъ входъ въ то или другое отверстіе. Фирмою наслѣдниковъ Е. Лейбольда въ Кёльнѣ выработана за послѣдніе годы новая конструкція ртутнаго насоса. При этой конструкціи устраняется необходимость въ попеременномъ опусканіи и поднятіи баллоновъ, что не только замедляетъ дѣйствіе насоса, но требуетъ еще услугъ отдѣльнаго лица, спеціально приставленнаго къ прибору. Здѣсь же все совершается автоматически, и достигается это слѣдующимъ приспособленіемъ. Одинъ изъ баллоновъ, наполняемыхъ ртутью и соединенныхъ между собою, какъ и раньше, съ помощью каучуковой трубки, привѣшенъ къ коромыслу вѣсовъ; на другомъ плечѣ коромысла имѣется противовѣсъ, расчитанный такимъ образомъ, чтобы баллонъ перетягивалъ только тогда, когда онъ наполненъ ртутью, когда же будетъ опорожненъ, перетянетъ противовѣсъ. Тотъ же баллонъ находится въ сообщеніи съ верхней частью замкнутаго сосуда, куда можетъ быть впущена вода подъ давленіемъ; для впуска и удаленія воды сосудъ снабжается краномъ о трехъ ходахъ, поворачиваемымъ автоматически въ то или другое положеніе упомянутымъ коромысломъ. Когда баллонъ, привѣшенный къ коромыслу, наполненъ ртутью, кранъ стоитъ въ такомъ положеніи, что водѣ открытъ доступъ въ сосудъ, вслѣдствіе чего воздухъ въ немъ подвергается сжатію и понижаетъ уровень ртути въ этомъ баллонѣ; въ другомъ, сообщающемся съ первымъ, баллонѣ ртуть начнетъ подниматься и вытѣснять воздухъ; когда первый баллонъ окажется пустымъ, въ горлышкѣ второго уровень ртути поднимется до самаго крана; въ тотъ же моментъ коромысло вѣсовъ перекинется, кранъ, черезъ который вода входила въ сосудъ, станетъ въ другое положеніе и позволитъ ей свободно выливаться наружу; вслѣдъ затѣмъ ртуть, подверженная теперь только дѣйствію силы тяжести, опять станетъ въ одномъ колѣнѣ опускаться, въ дру-

гомъ же подниматься и наполнять опорожненный баллонъ, во второмъ баллонѣ образуется Торричелліева пустота. Какъ только первый баллонъ окажется совершенно заполненнымъ, коромысло снова перекинется, и все пойдетъ въ прежнемъ порядкѣ.

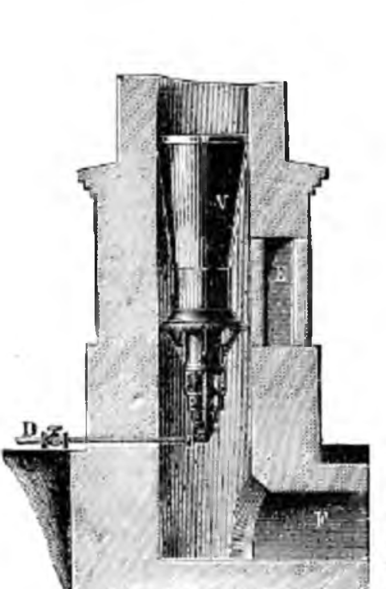
Дальнѣйшія подробности относительно ртутныхъ насосовъ и въ частности примѣненія ихъ при фабрикаціи калильныхъ лампъ читатель найдетъ въ III томѣ этого сочиненія.

Опыты съ воздушнымъ насосомъ. Съ воздушнымъ насосомъ можно произвести цѣлый рядъ демонстративныхъ опытовъ. Ранѣе мы уже говорили, что этимъ способомъ было обнаружено существованіе атмосфернаго давленія. Чтобы снять колоколъ насоса съ подставки, когда воздухъ подъ нимъ разрѣженъ, необходимо употребить нѣкоторое усиліе, въ зависимости отъ степени разрѣженія и размѣровъ колокола. Если замѣнимъ колоколъ воздушнаго насоса трубкой, верхній конецъ которой обтянутъ пузыремъ, то при удаленіи изъ него воздуха внѣшнее атмосферное давленіе прорветъ этотъ пузырь. Ранѣе уже былъ приведенъ тотъ фактъ, что атмосферное давленіе вгоняетъ ртуть въ сосудъ, закупоренный деревянной пробкой, когда станемъ высасывать изъ него воздухъ. Вода поднимается вверхъ по трубкѣ, одинъ конецъ которой подведенъ подъ колоколъ насоса. Если продѣнемъ оттянутую на концѣ трубочку черезъ пробку банки, до половины наполненной водой или ртутью, то подъ колоколомъ воздушнаго насоса (когда воздухъ изъ него выкачанъ) жидкость станетъ бить фонтаномъ изъ узкаго отверстія трубки. Сморщенный пузырь, наполненный воздухомъ, въ пустомъ пространствѣ раздувается и даже наконецъ лопается, такъ какъ сила упругости расширяющагося воздуха не встрѣчаетъ извнѣ достаточнаго противодѣйствія. Звуковыя волны не передаются черезъ безвоздушное пространство: звонъ колокольчика замираетъ по мѣрѣ увеличенія степени разрѣженія, такъ какъ впечатлѣніе звука мы получаемъ только благодаря передачѣ сотрясеній звучащаго тѣла черезъ воздухъ. Подъ колоколомъ воздушнаго насоса всякое тѣло, какъ говорится, вѣситъ больше. Было уже объяснено, что точное взвѣшиваніе можетъ быть произведено только въ безвоздушномъ пространствѣ. Всѣ тѣла въ пустотѣ падаютъ съ одинаковой скоростью, изъ чего выводятъ, что въ воздухѣ тѣло встрѣчаетъ сопротивленіе производимому имъ движенію. Газы, поглощаемые нѣкоторыми жидкостями, выдѣляются въ большемъ количествѣ, если устранено вліяніе внѣшняго атмосфернаго давленія. Въ разрѣженномъ пространствѣ воздухъ выдѣляется пузырьками изъ воды, отстоявшееся уже пиво начинаетъ сильно пѣниться. Если въ жидкость погруженъ кусокъ дерева, то изъ-подъ него происходитъ болѣе обильное выдѣленіе пузырьковъ воздуха. Горящіе предметы тухнутъ въ пустотѣ, такъ какъ содержаніе кислорода недостаточно для поддержанія горѣнія, наоборотъ взрывчатыя вещества воспламеняются, потому что сами содержатъ кислородъ, выдѣленіе котораго вызываетъ повышеніе температуры.

Примѣненія воздушнаго насоса. Температура кипѣнія жидкостей находится въ большой зависимости отъ испытываемаго ими давленія. Вода кипитъ при 100° C только при нормальномъ атмосферномъ давленіи: въ паровомъ котлѣ подъ давленіемъ 5 атмосферъ она закипаетъ только при 152° C и обратно, съ уменьшеніемъ давленія температура кипѣнія понижается: при давленіи въ 93 мм. ртутнаго столба температура кипѣнія воды 50°, а при давленіи въ 17,4 мм. она уже опускается до 20°, такъ что достаточно согрѣть въ рукахъ сосудъ, чтобы вода закипѣла. Часто бываетъ желательно понизить температуру кипѣнія жидкости или раствора солей, а иногда вызвать болѣе сильное отдѣленіе пара. Подобный случай встрѣчается при добываніи сахара изъ свекловицы. Когда полученный изъ свек-

ловичнаго сока сахарный растворъ выпариваютъ (для кристаллизаціи) при температурѣ кипѣнія, соотвѣтствующей нормальному давленію, то много сахару тратится почти безполезно на образованіе сиропа. Поэтому стремятся вызвать обильное выдѣленіе пара при болѣе низкой температурѣ, чего и достигаютъ, удаляя все время выдѣляющіеся пары съ помощью энергичнаго дѣйствія насосомъ. Въ лабораторіяхъ и на химическихъ заводахъ тоже нерѣдко является надобность быстро и при низкой температурѣ произвести дестилляцію воды. Въ такихъ случаяхъ обыкновенно для высасыванія воздуха пользуются пульверизаціонными насосами.

Для искусственнаго усиленія тяги дымовыхъ трубъ также обращаются къ помощи воздушныхъ насосовъ. Въ этомъ является надобность, если размѣры трубы не могутъ вызвать соотвѣтствующей тяги и еще чаще, если труба не только служитъ для удаленія газовъ, выдѣляющихся во время процесса горѣнія, но также даетъ возможность воспользоваться совершающимся при этомъ переносомъ теплоты. Съ послѣднимъ мы встрѣчаемся при пользованіи кольцевыми печами, генераторами и экономизаторами паровыхъ котловъ. Здѣсь нѣтъ достаточной тяги, потому что не всѣ части трубы прогрѣваются, какъ слѣдуетъ. Помѣщеніемъ же пульверизаціоннаго аппарата можно безъ большихъ затратъ достигнуть желаемаго увеличенія тяги. Рисунокъ 180 показываетъ одно изъ подобныхъ приспособленій, называемыхъ пульверизаціонными вентиляторами или эксгаусторами. Верхній конецъ вентилятора *V* плотно вставленъ въ отверстіе трубы. Паръ, приводящій вентиляторъ въ дѣйствіе, входитъ черезъ трубку *D* и проходитъ черезъ сопло въ нижней части вентилятора, *F* соединеніе трубы съ печью.




180. Вентиляторъ Кёртинга для дымовыхъ трубъ.



181. Ручной нагнетательный насосъ.

Описанное приспособленіе особенно пригодно для низкихъ пароходныхъ трубъ. Не требуя большой затраты пара, оно значительно усиливаетъ тягу. Если выдѣляемые во время топки печи газы не должны быть выведены далеко вверхъ, то даже самыя трубы могутъ быть устранены и замѣнены пульверизаціонными вентиляторами.

Нагнетательные насосы. Всякій воздушный насосъ (поршневый, ртутный или пульверизаціонный) можетъ быть примѣненъ двоякимъ образомъ: или для высасыванія воздуха, или для сгущенія его (нагнетаніе). Въ насосахъ съ краномъ достаточно повернуть послѣдній въ иное положеніе, чтобы обратить насосъ изъ всасывающаго въ нагнетательный. Въ насосахъ же съ клапанами необходимо произвести иное размѣщеніе отдѣльныхъ частей. На рис. 181 изображенъ маленькій ручной нагнетательный насосъ, весьма часто употребляемый въ практикѣ для самыхъ разнообразныхъ цѣлей. A, это самый

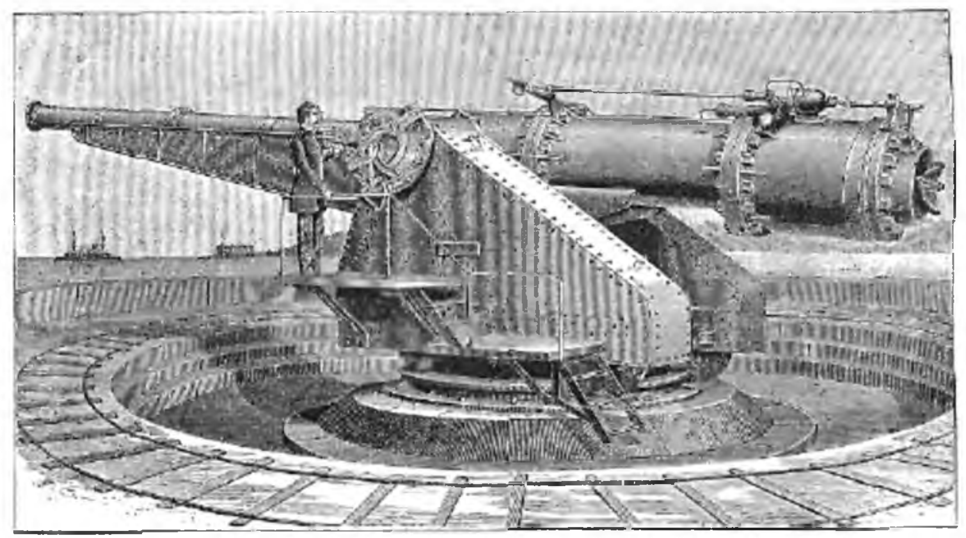
обыкновенный цилиндръ съ поршнемъ, *K* резервуаръ для скопленія сжатаго воздуха. Воздухъ входитъ въ цилиндръ прямо извнѣ или изъ другого аппарата черезъ трубку *D* и кранъ *B*; въ коробкѣ *h* заключенъ вводящій клапанъ въ *a* выводящій; между нимъ и резервуаромъ *K* находится кранъ *C*, который такъ же, какъ и кранъ *B*, долженъ быть открытъ, когда воздухъ нагнетается въ резервуаръ, и служитъ лишь для герметическаго закупориванія его уже послѣ наполненія сжатымъ воздухомъ. Открывши кранъ *E*, мы получимъ струю сжатаго воздуха, которую можемъ направить, куда слѣдуетъ, напримѣръ къ паяльному прибору.

Подобные же насосы съ запаснымъ резервуаромъ употребляются для испытанія прочности газопроводныхъ трубъ, для очистки ихъ отъ ржавчины и отложенія нафталина; для очистки засорившихся водопроводныхъ трубъ отъ осѣвшей тины, если въ засорившихся частяхъ нѣтъ какихъ-нибудь очень твердыхъ образованій. Сначала развиваютъ довольно сильное давленіе въ резервуарѣ, затѣмъ, сообщивъ его съ трубопроводомъ, быстро открываютъ кранъ, такъ что выбивающаяся подъ сильнымъ напоромъ воздушная струя будетъ выбрасывать изъ открытаго конца трубы всѣ засорявшіе ее предметы.

Всѣмъ извѣстныя пневматическія ружья также дѣйствуютъ сжатымъ воздухомъ. Въ такихъ ружьяхъ имѣется полый поршень изъ крѣпкаго листового желѣза, въ который съ помощью насоса нагнетается воздухъ. Клапанъ въ передней части поршня, открывающійся наружу, преграждаетъ выходъ воздуха. При нажиманіи собачки этотъ клапанъ мгновенно открывается, сжатый воздухъ устремляется въ дуло и выбрасываетъ изъ него зарядъ. Выстрѣлъ изъ пневматическаго ружья никогда не достигаетъ той силы, какъ пороховой выстрѣлъ, такъ какъ здѣсь можно развить давленіе не болѣе 25 атмосферъ, тогда какъ при мгновенномъ взрывѣ пороха въ замкнутомъ пространствѣ давленіе превосходитъ 1000 атмосферъ, а въ ружьяхъ новѣйшей конструкціи оно еще болѣе. Если даже принять во вниманіе тотъ фактъ, что сгораніе пороха не происходитъ моментально, такъ что пуля успѣетъ нѣсколько подвинуться впередъ и вначалѣ дастъ возможность газу свободно расширяться, то все же давленіе въ моментъ выхода ея изъ дула нужно признать гораздо болѣе значительнымъ, нежели давленіе сжатаго воздуха въ пневматическомъ ружьѣ. Послѣднее и бьетъ не такъ далеко и траекторія пули болѣе изогнута, такъ что попасть въ цѣль изъ него гораздо труднѣе.

За послѣднее время однако были попытки воспользоваться идеей воздушнаго ружья при постройкѣ артиллерійскихъ динамитныхъ орудій для защиты береговъ. Обыкновенныя пушки опасно бываетъ заряжать разрывными снарядами, такъ какъ взрывъ легко можетъ произойти въ самомъ дулѣ, и вмѣсто того, чтобы причинить уронъ непріятелю, мы напрасно погубимъ собственныхъ солдатъ. Но съ другой стороны при оборовѣ береговъ очень важно имѣть возможность дѣйствовать такимъ сильно взрывчатымъ веществомъ, какъ динамитъ. Достаточно одного выстрѣла съ хорошимъ зарядомъ динамита, чтобы взорвать на воздухъ самый большой броненосецъ. Въ Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ и въ Англіи въ теченіе послѣднихъ десятилѣтій нѣсколько разъ производились испытанія динамитныхъ орудій, дѣйствующихъ сжатымъ воздухомъ. На рисункѣ 182 представленъ внѣшній видъ одного изъ орудій, какія установлены въ береговыхъ крѣпостяхъ Нью-Іорка, Бостона и Санъ-Франциско. Дуло имѣетъ въ длину 15 м. и состоитъ изъ отдѣльныхъ литыхъ желѣзныхъ трубокъ, плотно скрѣпленныхъ одна съ другой. Калибръ его (діаметръ канала) равенъ 38 см. Орудіе можетъ быть установлено подъ извѣстнымъ угломъ къ горизонту, а самый лафетъ вращается около вертикальной оси. Сжатый воздухъ изъ запасного

резервуара поступаетъ въ камеру, помѣщающуюся въ казенной части. Давленіе воздуха въ резервуарѣ доходитъ до 140 атмосферъ; изъ камеры онъ выходитъ по двумъ каналамъ и выбрасываетъ разрывной снарядъ съ силою, соотвѣтствующей давленію 70 атмосферъ. Чтобы при столь незначительномъ сравнительно давленіи добиться желаемаго эффекта, пришлось удлинить дуло орудія и тѣмъ увеличить время дѣйствія силы. Ядра обыкновенно имѣютъ форму продолговатой гранаты различной величины, только головка и вставныя части должны быть у всѣхъ одинаковы, чтобы ихъ можно было вкладывать въ одно и то же орудіе. Наибольшая длина гранаты 3,35 м., т.-е. та-же почти, что у торпедо; вѣситъ оно 450 кгр. и содержитъ взрывчатое вещество въ количествѣ 225 кгр. Траекторія ядра такъ же, какъ и въ пневматическомъ ружьѣ сильно искривлена, такъ что орудіе необходимо устанавливать подъ большимъ угломъ къ горизонту. При углѣ въ 35° дальность полета гранаты, самыхъ большихъ размѣровъ, не превышаетъ



183. Американская динамитная пушка.

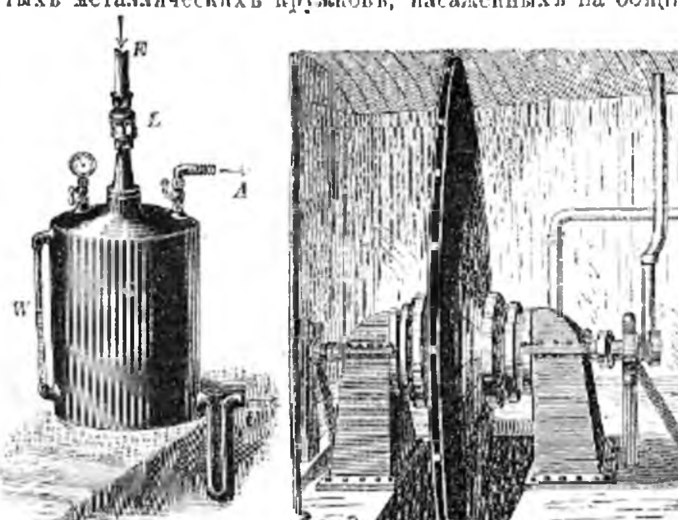
2200 м., самая же маленькая граната, діаметромъ въ 15 и вѣсомъ въ 108 кгр. (содержаніе взрывчатой смѣси 23 кгр.), можетъ быть выброшена на разстояніе 5500 м.

Пока еще нельзя сказать съ увѣренностью что-либо про будущность пневматическихъ орудій съ разрывными ядрами. До сихъ поръ ни одна еще держава не послѣдовала примѣру Англіи и Соединенныхъ Штатовъ, и надо думать, что очевидные недостатки подобныхъ снарядовъ тормозятъ ихъ распространеніе. Ядро, въ виду того, что оно наполнено сильно взрывчатымъ веществомъ, должно встрѣчать наименьшее сопротивленіе движенію, а поэтому въ дулѣ нельзя сдѣлать нарѣза. При гладкомъ же ложѣ и малой начальной скорости, нельзя опредѣлить вполнѣ строго, по какому пути оно пойдетъ, и слѣдовательно трудно намѣтить заранѣе выстрѣлъ.

Различнаго рода воздуходувныя машины, приводимыя въ дѣйствіе сжатымъ воздухомъ и паромъ, также сгущаютъ воздухъ. Но здѣсь стремленіе клонится не къ тому, чтобы достигнуть большого давленія, а чтобы за извѣстный промежутокъ времени продуть воздухъ въ возможно большемъ количествѣ. Такъ напримѣръ, для поддержанія болѣе энергичнаго горѣнія подъ паровымъ котломъ или въ какой-либо другой печи, развивающей большой жаръ, постоянно продуваютъ воздухъ черезъ печную рѣшетку съ по-

мощью такъ называемаго пароструйнаго вентилятора. На рисункѣ 183 изображенъ пульверизаціонной паяльный аппаратъ. *G* — это резервуаръ съ сжатымъ воздухомъ, *L* — пульверизаціонный насосъ съ водоподъемной трубкой *E*. Давленіе въ резервуарѣ указывается металлическимъ манометромъ (на рисункѣ слѣва). Чрезъ трубку *A* сжатый воздухъ выпускаютъ наружу, резервуаръ *G* до половины наполненъ водой, уровень которой всегда указывается сообщающейся съ нимъ стеклянной трубкой *W*. Чрезъ трубку *U* вода выходитъ изъ резервуара. Совершенно такіе же аппараты употребляются для того, чтобы насытить воду растворенымъ воздухомъ (такую воду употребляютъ для акваріумовъ) и вообще для газированія жидкостей.

По тому же типу, какъ и водяные, устроиваются воздушные центробѣжные насосы, всасывающіе и нагнетательные. Конструкція ихъ крайне проста. Какъ показываетъ рисунокъ 184, они состоятъ изъ двухъ большихъ вогнутыхъ металлическихъ кружковъ, насаженныхъ на общій валъ и обращенныхъ вогнутостью другъ къ другу. Между краями кружковъ остается лишь узенькій просвѣтъ. Валъ, на который насажены кружки, внутри пустой; онъ соединяется съ одной стороны съ трубкой пріемника, съ другой же стороны черезъ посредство небольшого отверстія онъ всегда находится въ сообщеніи съ пространствомъ между вогнутыми кружками. Когда приведемъ кружки въ быстрое вращеніе, воздухъ, заключенный въ этомъ пространствѣ будетъ стремиться вырваться наружу, и вслѣдствіе образующагося разрѣженія валъ начнетъ высасывать воздухъ изъ пріемника. Помѣстивъ кружки въ оправу, не пропускающую воздуха, мы обратимъ тотъ же насосъ въ нагнетательный.

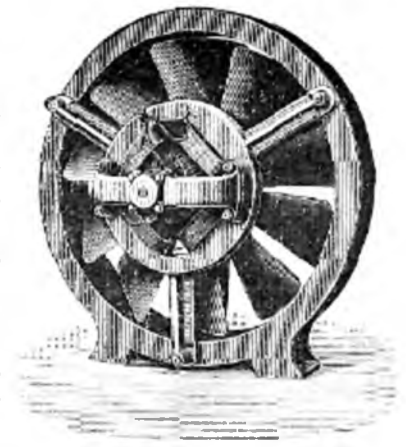


183. Пульверизаторъ Кертинга. 184. Центробѣжный насосъ.

Если для освѣженія воздуха въ нѣкоторомъ замкнутомъ пространствѣ недостаточно простого провѣтриванія его, то прибѣгаютъ къ устройству искусственной вентиляціи. При этомъ поступаютъ двояко: или устроиваютъ въ данномъ пространствѣ разрѣженіе воздуха, тогда недостатокъ будетъ пополняться извнѣ свѣжимъ воздухомъ, или же обратно: нагнетаютъ свѣжій воздухъ, тогда старый выходитъ черезъ спеціально сдѣланныя для этого отдушины, а иногда просто вытѣсняется черезъ двери, окна и скважины стѣнъ. Оба способа одинаково примѣняются въ техникѣ. Первый требуетъ всасывающаго насоса, второй нагнетательнаго. Въ томъ и другомъ случаѣ разность между внѣшнимъ и внутреннимъ давленіемъ не должна быть значительна, но зато необходимо прогнать большое количество воздуха. Какъ всѣмъ извѣстно, вентиляторы ставятся всюду: въ большихъ жилыхъ помѣщеніяхъ, въ классныхъ комнатахъ и на фабрикахъ, но особенно сильная вентиляція необходима въ сушильняхъ, потому что для

удаленія влаги изъ намокшихъ предметовъ нуженъ большой притокъ свѣжаго сухого воздуха. Здѣсь поршневые насосы и обыкновенныя воздуходувки съ запаснымъ резервуаромъ вовсе непригодны, такъ какъ они могутъ только вызвать сильное сгущеніе или разрѣженіе воздуха, доставить же его въ большомъ количествѣ не въ состояніи. Самый простой изъ вентиляторовъ, употребляемыхъ для названной цѣли, флюгерный вентиляторъ, состоитъ изъ колеса съ лопаточками, изогнутыми наподобіе крыльевъ вѣтряныхъ мельницъ (рис. 185). Но назначеніе этого прибора получить какъ разъ обратное дѣйствіе; тамъ въ (вѣтряныхъ мельницахъ) сила вѣтра вызываетъ вращеніе мельничнаго вала, здѣсь вслѣдствіе вращенія вала воздухъ самъ приходитъ въ движеніе, такъ что получается постоянное теченіе его въ направленіи, перпендикулярномъ къ плоскости колеса, т.-е., вызывается искусственный вѣтеръ; чѣмъ быстрѣе вращеніе, тѣмъ больше притокъ воздуха. Для вращенія вентилятора средней величины не требуется значительной силы; лучше всего пользоваться для этого небольшимъ электродвигателемъ. На рисункѣ представленъ вентиляторъ, насаживаемый прямо на ось электродвигателя.

Кромѣ того небольшіе вентиляторы для жилыхъ помѣщеній удобно приводить въ дѣйствіе посредствомъ часовыхъ механизмовъ съ гирями; иногда для той же цѣли пользуются напоромъ наливной воды, направляя для этого струю прямо на лопатки колеса: такъ какъ треніе здѣсь незначительно, то оно вращается довольно быстро.


185. **Вентиляторъ (электрическій).**

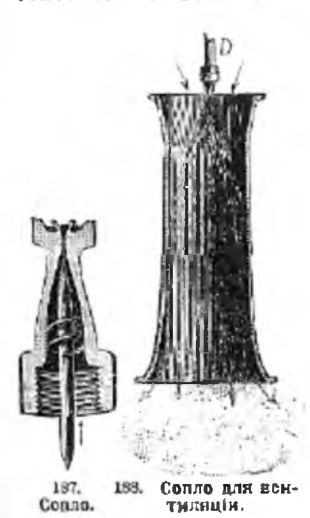
Вмѣсто вращающихся вентиляторовъ здѣсь такъ же нерѣдко употребляютъ пульверизаціонные. Устройство такихъ приборовъ, приводимыхъ въ дѣйствіе силою пара или сжатаго воздуха, совершенно сходно съ устройствомъ описаннаго нами ранѣе вентилятора, увеличивающаго тягу дымовыхъ трубъ. Примѣненіе ихъ является особенно подходящимъ, если нѣтъ въ распоряженіи я трудно получить источникъ механической энергіи, которымъ можно бы воспользоваться для вращенія большихъ флюгерныхъ вентиляторовъ. На рисункѣ 186 представленъ пульверизаціонный вентиляторъ для освѣженія воздуха въ штольняхъ. При прорытіи туннеля и вообще при работахъ въ горахъ постоянно имѣется въ запасѣ сжатый воздухъ для камнебуравльныхъ машинъ, такъ что достаточно въ главномъ трубопроводѣ сдѣлать отвѣтвленіе къ вентилятору, чтобы привести послѣдній въ дѣйствіе. Вмѣсто того, чтобы подводить сжатый воздухъ къ штольнѣ и тамъ ставить аппаратъ, поступаютъ наоборотъ: вентиляторъ помѣщаютъ въ началѣ и отъ него ведутъ воздухопроводную трубу; такимъ образомъ достигается лучшая вентиляція, такъ какъ, находясь въ непосредственномъ сообщеніи съ внѣшнимъ воздухомъ, пульверизаціонный аппаратъ доставляетъ его въ большемъ количествѣ. На рисункѣ 186 буквой *U* обозначенъ пульверизаціонный аппаратъ съ регуляторнымъ клапаномъ *s*, *d* — трубка, подводящая сжатый воздухъ, *D* — отсѣкательный клапанъ, которымъ уравновѣшивается доступъ пара. При иномъ размѣщеніи отдѣльныхъ частей вентиляторъ можетъ служить также для высасыванія воздуха изъ рабочаго помѣщенія.

Вододѣйствующіе пульверизаціонные аппараты обыкновеннаго устройства не пригодны для вентиляторовъ, такъ какъ совершенно ровная (плотная) струя воды не можетъ въ своемъ движеніи увлечь много воздуха. Для этой

цѣли фирмой бр. Кёртингъ предложено особое разбрызгивающее сопло (рис. 187), привинчиваемое къ водопроводной трубѣ. Входя въ сопло, вода *движется въ немъ по винтовому каналу, примыкающему къ стѣнкамъ* аппарата. *Будучи приведена такимъ образомъ во вращеніе, она сохраняетъ* его и по выходѣ изъ суженнаго наконечника, такъ что, подчиняясь дѣйствію центробѣжной силы и силы, сообщающей поступательное движеніе, водяная струя приметъ видъ расширеннаго полаго внутри конуса (рис. 188) и воздухъ будетъ увлекаться ею въ большомъ количествѣ. Подобныя же насосы употребляются при нефтяномъ и керосиновомъ отопленіи.


185. Вентиляторъ Кёртинга въ штольняхъ.

Однимъ изъ важнѣйшихъ примѣненій всасывающихъ и нагнетательныхъ насосовъ является такъ называемая пневматическая передача денегъ и посылокъ. *Еще 200 лѣтъ тому назадъ Папинъ, знаменитый изобрѣтатель* парового котла (объ этомъ изобрѣтеніи будетъ рѣчь дальше), высказалъ идею относительно возможности передвиженія повозокъ черезъ туннели съ помощью сжатаго воздуха, но онъ не далъ никакого практическаго развитія этой идеѣ. Мысль Папина была осуществлена въ дѣйствительности лишь много лѣтъ спустя. Первымъ изобрѣтателемъ въ этой области считаютъ француза Адора, который въ 1852 г. въ паркѣ Монсо произвелъ рядъ весьма удачныхъ опытовъ съ аппаратомъ для пневматической пересылки пакетовъ. За годъ передъ тѣмъ модель его изобрѣтенія, исполненнаго въ маломъ масштабѣ, демонстрировалась на первой всемірной выставкѣ въ Лондонѣ (1851 г.). Немного позднѣе англійскій физикъ, Латимеръ Кларкъ, взялъ патентъ на устройство пневматической почты въ Англіи. Въ 1860 году въ Лондонѣ было приступлено къ постройкѣ проектируемыхъ *сооруженій для городской почты. По тому же* типу въ 1867 г. были организованы работы для устройства внутреннихъ сношеній между почтовыми и телеграфными отдѣленіями въ Парижѣ. Впослѣдствіи это дѣло получило еще большее развитіе и распространеніе. Въ Германіи (въ 1865 г.) была принята англійская система, разработанная фирмой Сименса и Гальске въ Берлинѣ. Въ Европѣ пневматическая почта введена въ слѣдующихъ городахъ: въ Лондонѣ, Манчестерѣ, Бирмингамѣ, Ливерпулѣ, Вѣнѣ, Парижѣ, Ліонѣ и въ Германіи только въ Берлинѣ. Впервые почтовыя сношенія по этому плану были открыты въ Берлинѣ въ 1876 г. и съ тѣхъ поръ все продолжали развиваться. Въ этомъ городѣ радіальная система сообщенія. Въ срединѣ находится главная центральная станція, вкругомъ нея въ различныхъ частяхъ города расположены промежуточныя, узловыя и конечныя станціи, соединенныя съ центральной станціей подземными трубами. Насосы (всасывающіе и нагнетательные) и резервуары съ сжатымъ или разрѣженнымъ воз-



187. Сопло. 188. Сопло для вентиляціи.

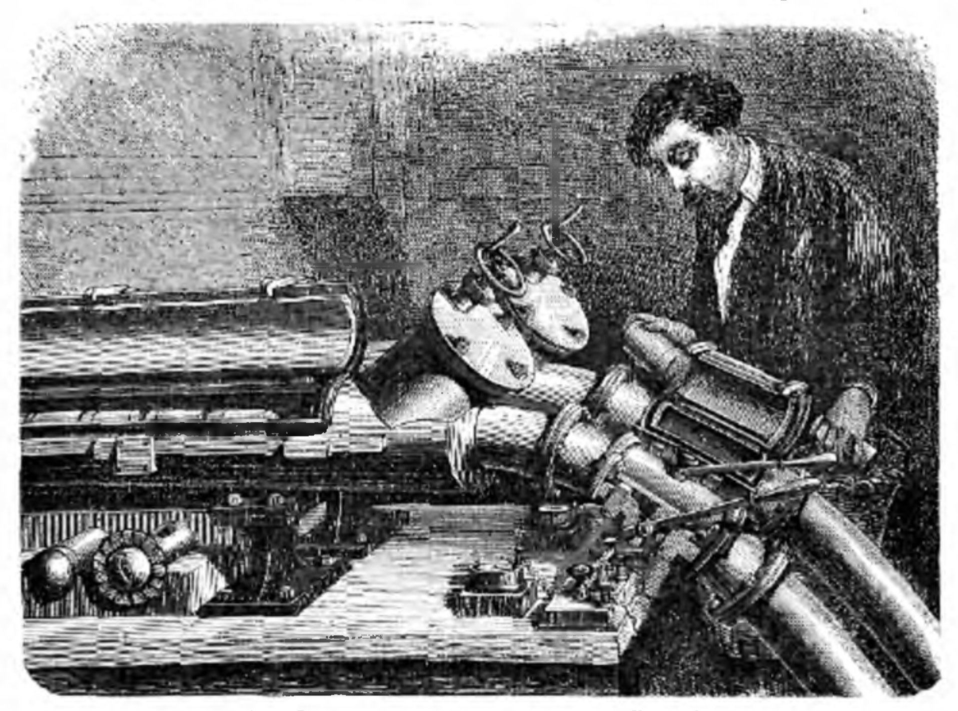
духомъ имѣются только въ центральной и на главныхъ узловыхъ станціяхъ. Разсылка депешъ производится слѣдующимъ образомъ. Трубы всѣхъ почтовыхъ отдѣленій, расположенныхъ въ извѣстномъ районѣ, сходятся въ центральной или узловой станціи; здѣсь помѣщенъ ящикъ съ крышкой, не пропускающей воздуха. Къ нему идутъ провода отъ резервуаровъ съ сжатымъ и разрѣженнымъ воздухомъ; поворачиваніемъ крана въ то или другое положеніе мы соединяемъ ящикъ съ однимъ изъ резервуаровъ. Положимъ, требуется отправить посылку съ главной станціи. Кладутъ всѣ пакеты въ кожаную сумочку, аккуратно входящую въ отверстія трубы (эта сумка должна двигаться въ трубѣ безъ большого тренія). Затѣмъ открываютъ ящикъ, вдвигаютъ сумку въ соотвѣтствующее входное углубленіе и, закрывши его снова, впускаютъ сжатый воздухъ. Сумка вгоняется сжатымъ воздухомъ еще глубже, и въ то же время конечная станція назначенія или одна изъ промежуточныхъ извѣщается по телеграфу объ отправленіи посылки. Тотчасъ почтовый чиновникъ однимъ поворотомъ крана производитъ разрѣженіе воздуха въ трубѣ передъ сумкой, отчего послѣдняя выбрасывается въ пріемный ящикъ. Тогда чиновникъ вынимаетъ посылку, закрывъ предварительно кранъ, чтобы не выпускать напрасно воздуха. Если имѣются еще посылки, адресованныя на слѣдующія станціи, то ящикъ снова сообщается съ главной станціей, гдѣ отверстіе резервуара съ сжатымъ воздухомъ должно быть все время открыто; такимъ образомъ сумка проталкивается дальше. Если же обратно, посылка отправляется съ одной изъ промежуточныхъ станцій на главную, то, по полученіи извѣстія, устроиваютъ разрѣженіе воздуха въ трубкѣ. Когда затѣмъ кранъ конечной станціи будетъ открытъ, атмосферный воздухъ вгонитъ посылку въ пріемный ящикъ главной станціи. Въ этомъ производствѣ все расчитано такимъ образомъ, чтобы сумка двигалась на всемъ протяженіи равномѣрно. Посылка можетъ быть передана съ одной станціи на другую, находящуюся въ разстояніи 1 клм., въ теченіе $2^1/_2$ мин., если исключить время на отправленіе и пріемъ пакета. Обыкновенно прокладываютъ трубы, шириной въ 65 мм. и вкладываютъ заразъ нѣсколько сумокъ: каждая содержитъ до 20-ти писемъ.

На рисункѣ 189 представлено одно изъ отдѣленій станціи пневматической почты въ Парижѣ.

Пневматическая желѣзная дорога. Около 60 лѣтъ тому назадъ англичанинъ Медгурстъ выступилъ съ планомъ пневматическаго передвиженія пассажирскихъ и товарныхъ поѣздовъ по желѣзнодорожнымъ рельсамъ. Онъ представилъ полный и вполнѣ разработанный проектъ предлагаемаго нововведенія, но въ то время паровая тяга наводила на многихъ страхъ, такъ что это предпріятіе также было признано рискованнымъ и въ ближайшемъ будущемъ врядъ ли его планъ могъ быть приведенъ въ исполненіе. Идея заключалась въ слѣдующемъ. По всей длинѣ пути между рельсами долженъ быть проложенъ трубопроводъ, въ которомъ бы свободно двигался легкій поршень, по возможности плотно примыкая къ внутреннимъ стѣнкамъ. Поршень долженъ быть скрѣпленъ съ вагонами при помощи широкой планки, Для этого во всю длину трубопровода необходимо сдѣлать узкій прорѣзъ, черезъ который могла бы проходить соединительная планка. Вотъ это-то и представляло главное затрудненіе, съ которымъ техникѣ предстояло долго еще бороться. Дѣло въ томъ, что планка должна скользить въ прорѣзѣ почти безъ тренія, самый же прорѣзъ во всю длину долженъ быть все время закрытъ, чтобы въ трубѣ не могло образоваться разрѣженіе воздуха. Въ 1840 г. была попытка ввести пневматическое передвиженіе на желѣзнодорожной линіи Вестъ-Лондонъ на протяженіи $3^1/_2$ км. Затѣмъ нѣкоторыя другія линіи послѣдовали примѣру этой дороги, но все предпріятіе вскорѣ рушилось, такъ какъ сама система оказалась неудачной, и эксплоатація приносила только

громадные убытки. Во Франціи тоже была построена пневматическая дорога въ участкѣ Наитерръ-С.-Жерменъ, но и здѣсь повторилось то же самое, такъ какъ доходы не окупали затратъ.

Позднѣе въ основу устройства былъ положенъ иной принципъ. Весь поѣздъ долженъ былъ передвигаться въ туннелѣ наподобіе сумки пневматической почты. Для этой цѣли вагонъ снабжался огромнымъ буферомъ, во всю ширину тоннеля, который долженъ былъ двигаться въ послѣднемъ, какъ поршень. Буферъ окружался какой-нибудь прокладкой, непроницаемой для воздуха, напримѣръ эластичной щеткой, кольцевой формы. При такихъ большихъ размѣрахъ поршня достаточно вызвать съ одной стороны небольшое сгущеніе или разрѣженіе воздуха, чтобы поѣздъ двигался довольно быстро. Но тѣмъ не менѣе мало надежды, чтобы подобный способъ передвиженія вагоновъ получилъ распространеніе. Для желѣзнодорожнаго передвиженія въ



159 Станція пневматической почты въ Парижѣ.

туннеляхъ и подземныхъ городскихъ путяхъ, гдѣ локомотивъ неудобенъ, потому что дымитъ, гораздо лучше пользоваться электрической тягой. За послѣднее время въ этой области сдѣлано столько усовершенствованій, что названный способъ можетъ поспорить съ паровой тягой и въ скорости и въ безопасности передвиженія.

Въ новѣйшее время выступила впередъ еще другая система уличнаго передвиженія, основанная на давленіи воздуха. Новая мысль, примѣненная въ этой системѣ и отличающая въ принципѣ эту послѣднюю отъ старыхъ пневматическихъ системъ, заключается въ томъ, чтобы нѣкоторое количество сжатаго воздуха находилось на самомъ поѣздѣ. На особыхъ центральныхъ машинныхъ станціяхъ воздухъ сжимается посредствомъ нагнетательныхъ насосовъ до высокаго давленія: такъ въ системѣ Юза и Ланкастера въ Англіи до 12 атмосферъ давленія, а въ системѣ Мекарскаго въ Парижѣ до 50 и даже до 80 атмосферъ. Этотъ сжатый воздухъ вводится въ особые резер-

вуары, находящіеся или въ самихъ вагонахъ или подъ ними, и служить для приведенія въ дѣйствіе двигателя, устроеннаго такимъ же образомъ, какъ и въ паровыхъ машинахъ; сжатый воздухъ именно давитъ на поршень въ цилиндрѣ и при посредствѣ рычаговъ и шатуна приводитъ въ вращеніе ось. Примѣняется въ обширныхъ размѣрахъ система Мекарскаго теперь въ Бернѣ, хотя она испытана на практикѣ уже гораздо раньше (1883 г.) въ Нантѣ. Устроенная въ 1890 г. въ Бернѣ городская сѣть трамваевъ работаетъ при давленіи 32 атмосферъ; сжатіе воздуха на станціи производится при этомъ посредствомъ силы воды. Въ каждомъ вагонѣ имѣется сбоку воздушный двигатель; запасъ сжатаго воздуха, находящійся въ 10 или 12 резервуарахъ, достаточенъ для пути въ 20 км. при обыкновенной скорости 12 км. въ часъ и для перевозки по 20 человѣкъ въ вагонѣ. Скорость можетъ быть увеличена до 15 км. въ часъ.

Такой способъ передвиженія посредствомъ сжатаго воздуха для городскихъ дорогъ представляетъ особыя преимущества, такъ какъ вагоны не производитъ шума, и машины не выдѣляютъ ни пара, ни дыма, ни копоти, причемъ скорость движенія легко регулируется; неудобство заключается только въ большемъ вѣсѣ вагоновъ, такъ что на каждаго пассажира приходится слишкомъ большой такъ называемый мертвый вѣсъ, на который безполезно тратится сила. Притомъ и устройство и содержаніе обходятся довольно дорого, такъ что такой способъ передвиженія можетъ конкурировать съ обыкновенными конножелѣзными дорогами и электрическими трамваями только въ случаяхъ особо благопріятныхъ условій.

Воздухоплаваніе и летательныя машины.

Воздушный корабль по сравненіи съ парусныпъ кораблемъ (судномъ) и пароходомъ. Различныя возможности летанія по воздуху. Братья Монгольфьеры. Шарль и братья Робертъ. Первые подъемы воздушныхъ шаровъ. Полетъ на шарѣ Бланшара и Жефриса черезъ каналъ. Смерть Розье. Парашютъ. Ленорманъ, Гарнеринъ, Кокингъ, Робертсонъ, Летуръ, Леру. Опасности воздухоплаванія. Недостатокъ въ кислородѣ. Злополучный полетъ Тиссандье, Сивеля и Кроче-Спинелли. Полеты Гей-Люссака и Біо. Подъемы Грина, Кокксвелля и Глешера. Воздушное путешествіе „Гиганта". Военное воздухоплаваніе. Полетъ нѣмецкаго общества поощренія воздухоплаванія. Шары-зонды. Управляемые шары. Воздушный корабль Веттини. Воздушные корабли Жиффара, Дюпюи де Ломъ, Тиссандье, Ренаръ и Кребсъ. Кемпбель. Алюминіевый воздушный корабль Шварца. Техника летанья. Старыя летательныя машины. Летанье птицъ. Новые летательные снаряды; Бехтель, Труве, Харгравъ, Максимъ, Веллнеръ, Ланглей. Опытъ надъ летаньемъ Лиліенталя.

Желаніе человѣка летать по воздуху подобно птицамъ существуетъ съ древнѣйшихъ временъ. Плавать въ водѣ человѣкъ выучился уже очень рано, хотя отъ природы и не былъ снабженъ соотвѣтственными органами Уже въ глубокой древности жившіе по берегамъ, занимавшіеся торговлей культурные народы умѣли строить суда для путешествія по водѣ; но свободно подниматься на воздухъ и плавать тамъ или устроить дѣйствительно пригодные летательные снаряды, на которыхъ можно было бы въ любомъ направленіи переѣхать воздушный океанъ, это не достигнуто и понынѣ и нашей сильно ушедшей впередъ техникой, несмотря на всѣ ея успѣхи. Самымъ первымъ примѣромъ для человѣка явился естественно полетъ птицъ. Мы видимъ надъ своей головой въ вышинѣ ястреба, парящаго спокойно и царственно; повидимому безъ большого усилія, почти безъ взмаха крыльями онъ описываетъ свои круги; мы знаемъ, что птица тяжелѣе воздуха, что она слѣдовательно держится не сама собой, но только на основаніи опредѣленныхъ механическихъ, динамическихъ законовъ можетъ подниматься на воздухъ и двигаться въ немъ; уже наука въ новѣйшее время довольно подробно изучила полетъ птицъ, и старинная загадка, какъ летаютъ птицы, разрѣшена; тѣмъ не менѣе человѣкъ не въ силахъ овладѣть умѣньемъ летать. Чело-

вѣкъ съ своимъ умомъ и настойчивостью, сдѣлавшій во многихъ случаяхъ возможнымъ то, что казалось не осуществимымъ, заставившій служить себѣ силы природы, побѣдившій самую природу, пользуясь огромными пособіями современной техники, неужели не въ силахъ разрѣшить эту задачу, неужели не способенъ овладѣть тѣмъ, чѣмъ владѣетъ птица съ ея простыми средствами? Мы увидимъ, что въ настоящее время воззрѣнія на этотъ счетъ не являются уже такими безнадежными, какъ это было еще сравнительно недавно, что начало къ достиженію цѣли сдѣлано, что мысль о возможности летать въ ближайшемъ будущемъ уже вышла изъ области фантазій, лишенныхъ реальной подкладки. Въ началѣ 19-го столѣтія сочли бы за сумасшедшаго всякаго, кто вздумалъ бы утверждать, что въ сутки возможно самымъ удобнымъ образомъ попасть изъ Берлина въ Парижъ, или въ семь дней переѣхать черезъ Атлантическій океанъ въ Америку или же въ нѣсколько часовъ передать мысль на противоположный пунктъ земного шара, въ Австралію или въ Японію. Кто бы не расхохотался еще два (три) года тому назадъ, если бы ему сказали, что можно сдѣлать видимымъ содержимое въ прочномъ деревянномъ ящикѣ, не открывая его? И однакоже это достигнуто въ послѣднее время благодаря открытію профессора Рентгена. Гдѣ лежитъ предѣлъ достижимаго для человѣческаго ума? Разсматривая всѣ пріобрѣтенія человѣчества, дѣйствительно мы не въ силахъ ни измѣрить, ни опредѣлить этотъ предѣлъ. Съ каждымъ новымъ пріобрѣтеніемъ, съ каждымъ новымъ блестящимъ завоеваніемъ человѣческаго ума намъ представляется новая манящая насъ цѣль, на достиженіе которой мы полагаемъ наши силы. Это законъ необходимости, необходимое условіе для нашего культурнаго развитія; мы не можемъ и не должны оставаться въ покоѣ, такъ какъ покой есть шагъ назадъ.

Однакоже обратимся послѣ этого отступленія снова къ задачѣ летанья. Самыя древнія извѣстія о летаньи людей мы находимъ въ греческихъ миѳахъ. При дворѣ Миноса, царя Крита, отца Аріадны, проживалъ со своимъ сыномъ Икаромъ, аѳинскій художникъ Дедалъ, которому приписываются многія важныя изобрѣтенія, какъ напр. рычагъ, буръ, отвѣсъ и измѣреніе угловъ. Дедалъ былъ принятъ въ Критѣ, какъ бѣглецъ, послѣ того, какъ онъ въ своемъ родномъ городѣ Аѳинахъ былъ приговоренъ къ смерти за то, что сбросилъ со скалы изъ зависти одного изъ своихъ учениковъ, который грозилъ превзойти своего учителя въ научномъ отношеніи. По предложенію Миноса Дедалъ построилъ на Критѣ для чудовища Минотавра лабиринтъ, въ который позже онъ самъ со своимъ сыномъ былъ заключенъ властителемъ. Всякая возможность бѣгства по водѣ или по сушѣ ему была отрѣзана, оставался только воздухъ, и онъ рѣшилъ улетѣть по воздуху. Дедалъ устроилъ для себя и своего сына искусственныя крылья изъ птичьихъ перьевъ, скрѣпленныя вмѣстѣ помощью воска; научивъ своего сына, онъ поднялся съ нимъ на воздухъ, чтобы улетѣть надъ моремъ. Икаръ, не внемля предостереженіямъ отца, увлеченный этимъ новымъ удовольствіемъ летать, поднялся слишкомъ высоко на воздухѣ, причемъ приблизился къ солнцу настолько, что воскъ его крыльевъ расталъ; онъ упалъ въ море и захлебнулся. Дедалъ же благополучно спустился въ Сициліи.

Первыя практическія попытки подняться на воздухъ совсѣмъ не такъ стары; немного болѣе ста лѣтъ назадъ братья Монгольфьеры изобрѣли воздушный шаръ и совершили первый подъемъ шара съ людьми. Тогда казалась задача летанья по воздуху разрѣшенной; казалось, что возможность путешествовать по воздуху такъ же, какъ по сушѣ и по водѣ, теперь уже такой вопросъ ближайшаго будущаго; но, несмотря однако на сдѣланныя нѣкоторыя усовершенствованія въ воздушномъ шарѣ, до сихъ поръ не изобрѣтенъ летательный снарядъ, которымъ можно бы было управлять. Надо

думать, что трудности построить такой снарядъ не могли бы быть такъ велики, разъ осуществима возможность подниматься на воздухъ. Воздухъ, какъ мы уже раньше видѣли, представляетъ сопротивленiе, какъ и вода, но только болѣе слабое; является сама собой идея, нельзя ли управлять помощью механической силы воздушнымъ шаромъ совсѣмъ такъ, какъ управляютъ кораблемъ. Мы уже неоднократно сравнивали воздушный шаръ съ кораблемъ на морѣ; подобно тому, какъ корабль съ помощью вѣтра, парусовъ и руля можетъ ѣхать и даже лавировать противъ вѣтра, казалось бы, и воздушный корабль въ состоянiи направлятся въ любомъ направленiи. Но между обоими есть большая разница, въ которой и находитъ отчасти объясненiе трудность задачи построить управляемый воздушный шаръ; корабль плаваетъ на водѣ частью въ водѣ, частью въ воздухѣ, шаръ же весь плаваетъ въ одной средѣ, т.-е. въ воздухѣ. Корабль, уносимый впередъ вѣтромъ при посредствѣ парусовъ, находитъ въ водѣ точку опоры для руля; парусный корабль слушается руля потому, что силѣ вѣтра, дѣйствующей въ опредѣленномъ направленiи, можно противопоставить съ помощью руля сопротивленiе воды, дѣйствующее то съ правой, то съ лѣвой стороны. При слабомъ вѣтрѣ парусное судно въ водяныхъ теченiяхъ не слушается руля и не можетъ маневрировать; оно должно слѣдовать по теченiю, какъ бы ни былъ поставленъ руль. Плавающiй въ воздухѣ шаръ не имѣетъ точки опоры, дающей сопротивленiе рулю, съ помощью котораго направленiе движенiя можно было бы отклонить относительно направленiя вѣтра; воздухъ движется у руля такъ же скоро, какъ и у шара, и весь воздушный корабль плыветъ, неподвижный въ самомъ себѣ въ воздушномъ океанѣ, если ему не будетъ сообщено самостоятельной силой движенiе, какъ пароходу съ помощью лопастей колесъ или винта. Здѣсь слѣдовательно и лежитъ теоретическая возможность управлять шаромъ и давать ему собственное движенiе въ окружающемъ воздухѣ. Пароходъ движется благодаря сопротивленiю, которое встрѣчаютъ въ водѣ лопасти колеса или поверхности винта. Подобнымъ образомъ движущiяся поверхности встрѣчаютъ сопротивленiе въ воздухѣ, и помощью винта можно получить силу, толкающую шаръ впередъ. Но здѣсь при настоящемъ состоянiи техники одно обстоятельство опять-таки дѣлаетъ невозможнымъ практически осуществить движущiйся впередъ и управляемый шаръ помощью силы машины. Величина подъемной силы стоитъ въ опредѣленномъ и невыгодномъ отношенiи къ объему шара. Какъ мы уже раньше видѣли, подъемная сила зависитъ прямо отъ объема шара; но отъ величины подъемной силы въ свою очередь зависитъ величина и работоспособность двигателя, поднятаго на высоту для приведенiя въ движенiе механизма. До сихъ поръ нѣтъ такой машины, которая была бы въ состоянiи развивать работу, достаточную для того, чтобы двигать впередъ противъ вѣтра или хотя бы только удерживать на мѣстѣ такой большой шаръ, какой нуженъ для подъема машины вмѣстѣ съ остальнымъ грузомъ. У пароходовъ это отклоненiе выгоднѣе съ одной стороны, потому что вода во много разъ болѣе способна къ переносу, чѣмъ воздухъ, и, во-вторыхъ, потому что теченiя, съ которыми приходится бороться кораблю, имѣютъ меньшую скорость, чѣмъ вѣтеръ. Современный трансатлантическiй винтовой пароходъ, проходящiй полнымъ ходомъ 20 километровъ въ часъ, долженъ бы обратить свою скорость до 16 километровъ въ часъ назадъ подъ влiянiемъ противныхъ водяныхъ теченiй со средней скоростью вѣтра, т.-е. около 10 метровъ въ секунду, несмотря на всю мощь своихъ машинъ въ нѣсколько тысячъ лошадиныхъ силъ. Такимъ образомъ, воздушный шаръ не можетъ поднять машину, потребную ему для движенiя противъ вѣтра. Но это все относится только до настоящей формы шара и его полнаго вѣса такъ же, какъ и до существующихъ средствъ развивать силу; это не исключаетъ возможности ду-

мать, что будутъ изобрѣтены машины или методъ созданія энергіи въ соединеніи съ приспособленіемъ для превращенія этой энергіи въ механическую работу, при которыхъ отношеніе вѣса къ доставляемой работѣ будетъ значительно выгоднѣе, чѣмъ будетъ разрѣшена и задача управляемаго шара.

Во всякомъ случаѣ за послѣднее время много техниковъ, интересующихся вопросомъ воздухоплаванія, на основаніи глубокаго теоретическаго и практическаго изученія этихъ вопросовъ держится того воззрѣнія, что вообще не слѣдуетъ стремиться осуществить свободный полетъ людей посредствомъ аэростатическаго подъема съ помощью шара, такъ какъ полетъ долженъ быть возможенъ только чисто механическимъ путемъ, безъ шара, и, чтобы достигнуть свободнаго полета, надо имѣть въ виду природу, т.-е. брать примѣръ съ птицъ. Наконецъ, нѣкоторые знатоки дѣла стоятъ за среднюю точку зрѣнія и предполагаютъ всего скорѣе придти къ цѣли путемъ соединенія летательнаго снаряда съ небольшимъ, особой формы, шаромъ. Прежде чѣмъ мы займемся этими новѣйшими стремленіями самой техники летанія, слѣдуетъ сперва дать историческій очеркъ развитія воздухоплаванія до настоящаго времени.


190. Братья Э. и І. Монгольфьеры.

Въ 1670 году впервые пришла въ голову іезуитскому священнику Лана совершенно новая идея подниматься на воздухъ, являясь какъ бы предвѣстницей воздушнаго шара: Лана предполагалъ воспользоваться для этого тѣломъ, которое было бы легче воздуха. Опыты Торричелли были тогда уже хорошо извѣстны. Идеи Лана покоились на совершенно правильномъ физическомъ принципѣ. Онъ хотѣлъ приготовить четыре полыхъ шара діаметромъ въ $7^1/_2$ метровъ изъ листовой мѣди, толщиной $^1/_9$ мм., и удалить изъ нихъ воздухъ; съ этой цѣлью они сперва должны были быть наполнены водой и затѣмъ подняты на 10 метровъ вверхъ, чтобы вода по трубкамъ стекла внизъ, причемъ въ шарахъ образовалась бы Торричелліева пустота. Давленіе воздуха на такой шаръ должно было дойти до 290 килограммовъ, вѣсъ шара около 180 килограммовъ, такъ что дѣйствующая подъемная сила, доходя до 100 килограммовъ на шаръ или въ цѣломъ до 440 килограммовъ, была бы совершенно достаточна, чтобы поднять воздухоплавателя вмѣстѣ съ принадлежностями. Слѣдуетъ однако прибавить, что эту идею не удалось бы осуществить, такъ какъ мѣдные шары со стѣнками въ $^1/_9$ мм. послѣ удаленія воздуха должны были бы сплющиться давленіемъ внѣшняго воздуха, если только еще прежде при наполненіи водой они не дали бы трещинъ.

Эта идея Лана, покоющаяся на совершенно правильныхъ и годныхъ къ дальнѣйшему развитію основаніяхъ, была потомъ забыта и только спустя столѣтіе она снова появилась, но уже въ другой формѣ. Между тѣмъ въ 1709 г. португальскій физикъ Донъ Гупманъ предполагалъ устроить воздушный шаръ изъ бумаги и наполнить помощью огня горячимъ воздухомъ; изобрѣтатель хотѣлъ демонстрировать свой шаръ королю Іоанну V, однако подъемъ не удался, а дальнѣйшіе опыты не дѣлались. Въ старыхъ запискахъ

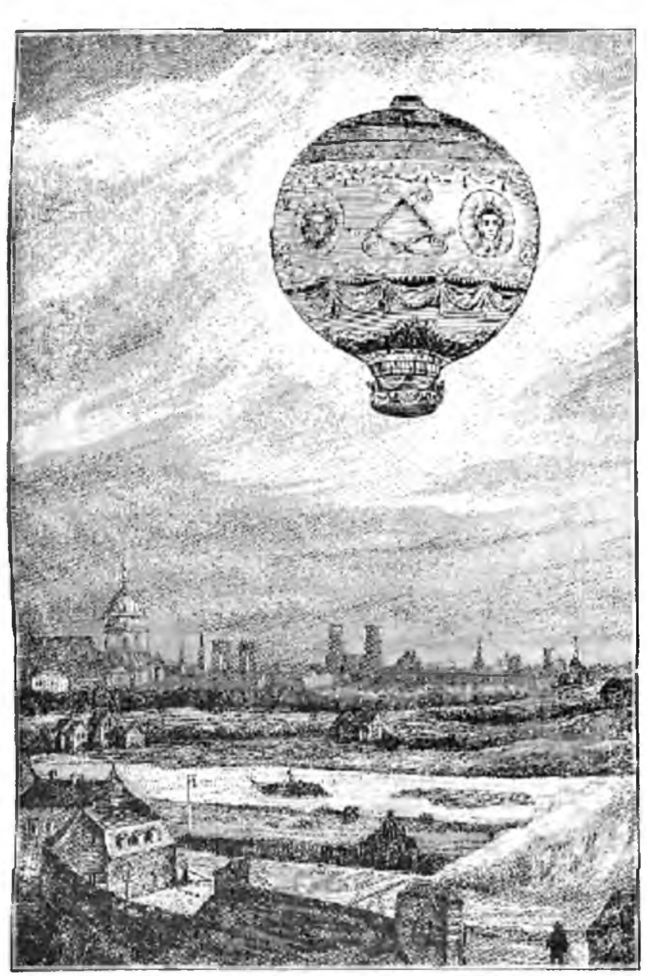
одного французскаго миссіонера въ Китаѣ встрѣчается извѣстіе, что тамъ уже въ началѣ XIV столѣтія при большомъ огнѣ подымались воздушные шары. Во всякомъ случаѣ честь изобрѣтенія воздушнаго шара не можетъ быть оспариваема у французовъ, братьевъ Монгольфьеровъ. Отецъ ихъ былъ энергичный и успѣшно ведущій свои дѣла бумажный фабрикантъ, очень интересовавшійся науками; старшій сынъ Этьенъ (род. въ 1740 г., ум. въ 1810 г.) учился въ Парижѣ, гдѣ онъ получилъ хорошее техническое образованіе и затѣмъ въ качествѣ сотрудника поступилъ на фабрику отца. Онъ, какъ и его младшій братъ, Іосифъ, имѣлъ ясный умъ и выдающуюся изобрѣтательность. Въ 1782 г. братья сдѣлали первые опыты, которые привели къ изобрѣтенію воздушнаго шара. Они наполняли бумажныя оболочки водородомъ, но тотъ слишкомъ скоро проникалъ черезъ бумагу, такъ что эти опыты были оставлены. Изъ наблюденія надъ тѣмъ, какъ двигались *облака паровъ и дыма, плавая на разныхъ высотахъ, они пришли къ* заключенію, что дымъ, наполняющій бумажный шаръ, также долженъ плавать. Въ 1752 г. опыты Веніамина Франклина доказали существованіе атмосфернаго электричества; съ этого же времени утвердился взглядъ, что легкость облаковъ и дыма основана на томъ, что они наэлектризованы. Задача заключалась слѣдовательно въ томъ, чтобы развить „электрическій дымъ“ и собрать въ бумажной оболочкѣ. Былъ сдѣланъ шаръ вмѣстимостью въ 1 куб. метръ и путемъ горѣнія смѣси соломы и шерсти получили такой „наэлектризованный дымъ“, который наполнилъ находящійся сверху шаръ. Опытъ удался, шаръ поднялся на значительную высоту. Изобрѣтатели еще не знали истинной физической причины явленія, а именно, что горячій дымъ менѣе



191. Ж. А. Ц. Шарль (Charles).

плотенъ и поэтому легче, чѣмъ воздухъ, они скорѣе думали, что получили газъ съ особыми свойствами. Послѣ предварительныхъ опытовъ братья Монгольфьеры слѣдующимъ лѣтомъ въ своемъ родномъ городѣ дали большое публичное представленіе съ большимъ шаромъ передъ значительнымъ числомъ зрителей; шаръ былъ почти правильной геометрической формы съ отверстіемъ внизу; сдѣланъ онъ былъ изъ полотна и бумажной покрышки и имѣлъ около $10\frac{1}{2}$ м. въ діаметрѣ, а объемъ 600 куб. метровъ, вѣсъ шара достигалъ 225 килограммовъ. Шаръ былъ наполненъ въ $\frac{1}{4}$ часа; онъ поднялся на 600 метровъ вверхъ и упалъ внизъ черезъ 15—20 минутъ въ двухъ километрахъ отъ мѣста подъема. Извѣстіе объ этомъ успѣхѣ быстро распространилось; по полученіи сообщенія объ этомъ изобрѣтеніи на него обратила вниманіе академія наукъ и назначила комиссію для провѣрки сообщенія. Между тѣмъ въ Парижѣ уже скоро была собрана сумма въ 10 000 франковъ для повторенія этого опыта. За устройство шара взялись два брата Робертъ, а молодой, но уже извѣстный, физикъ, профессоръ Шарль принялъ на себя руководство предпріятіемъ. Шарль скоро понялъ истинную причину поднятія шара и придумалъ сейчасъ же другое средство для достиженія той же цѣли: именно вмѣсто горячаго воздуха примѣнить для наполненія шара водородъ.

При этомъ однако явилось препятствіе въ томъ, что былъ неизвѣстенъ способъ получать водородъ въ большихъ количествахъ; добывали его въ лабораторіи въ небольшомъ размѣрѣ. Послѣ нѣкоторыхъ затрудненій достигли того, что шаръ былъ наполненъ; шаръ былъ сдѣланъ изъ тонкаго шелка и покрытъ лакомъ съ цѣлью сдѣлать его непроницаемымъ для газа; въ діаметрѣ шаръ имѣлъ $3^1/_2$ м. и объемъ въ 25 куб. м. Подъемъ совершился 27 августа на Марсовомъ полѣ при громадной толпѣ собравшихся зрителей. Въ двѣ минуты шаръ достигъ высоты въ 1000 метровъ и исчезъ въ облакахъ; черезъ $^3/_4$ часа онъ упалъ въ разстояніи 24 килом., причемъ причинилъ внизу не малое безпокойство ничего не ожидавшимъ жителямъ. Когда они прибѣжали къ шару, то вслѣдствіе сѣрнаго запаха выходящаго неочищеннаго водорода пришли къ убѣжденію, что диковинная вещь дьявольскаго происхожденія.

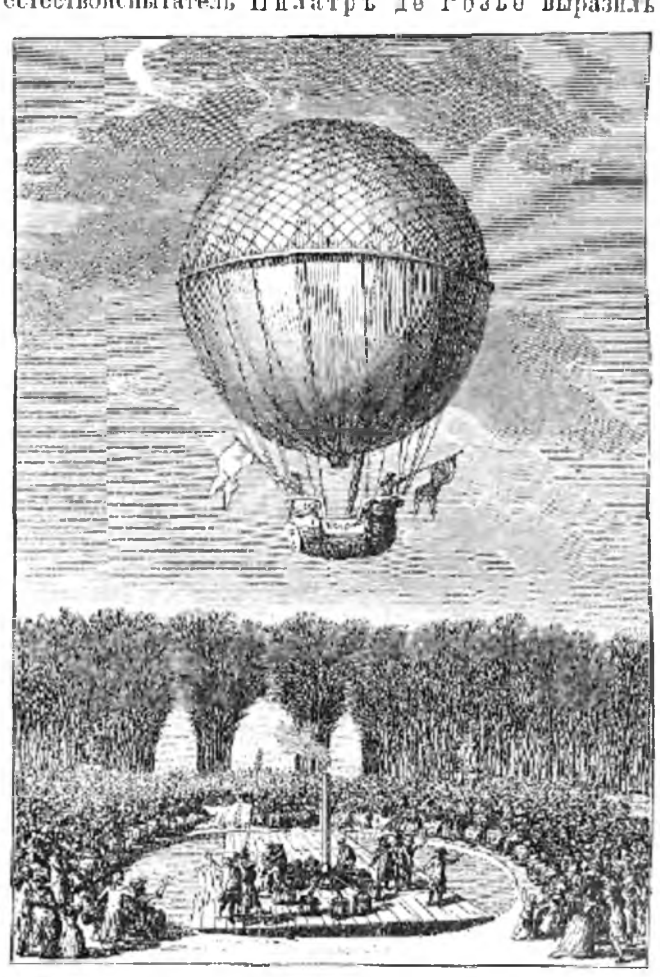


192. Первый подъемъ людей (Розье и Арландъ) на монгольфьерѣ 21 ноября 1783 г. въ Парижѣ.

На основаніи этихъ первыхъ опытовъ съ тѣхъ поръ шары, наполненные горячимъ воздухомъ, стали называться монгольфьерами, а наполненные водородомъ шарльерами. При своемъ первомъ опытѣ Шарль замѣтилъ, что наполненіе шара было ведено слишкомъ далеко; а именно, когда съ увеличеніемъ поднятія внѣшнее давленіе уменьшилось, газъ въ шарѣ расширялся сильнѣе, пока на оболочкѣ шара не появлялась трещина, причемъ шаръ довольно быстро снова падалъ на землю. Вскорѣ затѣмъ Монгольфьеръ по приглашенію королевскаго двора далъ представленіе въ Версали, передъ королемъ, передъ аристократіей и наиболѣе почетными гражданами. Онъ примѣнилъ для наполненія своего великолѣпно раскрашеннаго, большого шара опять-таки дымъ отъ горящей смѣси изъ стружекъ и шерсти. Въ качествѣ первыхъ пассажировъ при путешествіи по воздуху были посажены въ прикрѣпленную къ шару гондолу овца, пѣтухъ и утка. Эти послѣдніе были подняты на воздухъ на высоту 1500 метровъ и послѣ воздушнаго путешествія, продолжавшагося около восьми минутъ, невредимыми спустились на землю. Зрители пришли въ восторгъ отъ новаго изобрѣтенія, и Монгольфьеръ сталъ героемъ дня; Шарль, несмотря на то, что его способъ наполненія водоро-

домъ былъ значительно лучше, чѣмъ наполненіе дымомъ или нагрѣтымъ воздухомъ, на нѣкоторое время былъ забытъ.

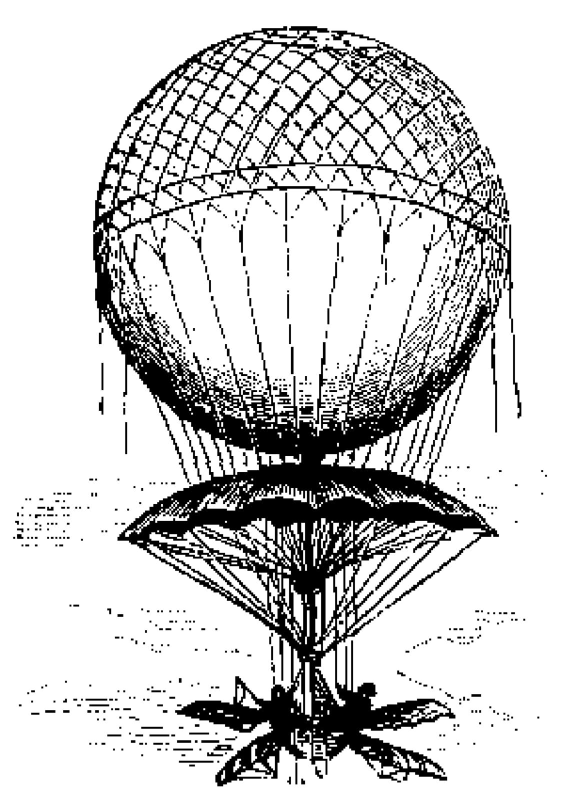
Монгольфьеръ тогда объявилъ о своемъ желаніи подняться на новомъ шарѣ самому; но пожелали предотвратить это намѣреніе и обратились съ представленіемъ къ королю Людовику XVI разрѣшить подняться на шарѣ двумъ преступникамъ, приговореннымъ къ казни, на что король и далъ свое согласіе. Но молодой естествоиспытатель Пилатръ де Розье выразилъ протестъ противъ того, что преступникамъ выпадетъ честь сдѣлать первое воздушное путешествіе; Розье умолялъ позволить ему подвергнуться этой опасности; стараніями его самого и его друга маркиза д'Арланда, пользовавшагося уваженіемъ при дворѣ, имъ удалось получить разрѣшеніе короля на подъемъ. Розье поднялся сперва въ видѣ опыта на привязанномъ монгольфьерѣ на 20 метровъ; послѣ чего опыты продолжались, пока съ привязаннымъ шаромъ не была достигнута высота въ 1000 метровъ. Затѣмъ 21 ноября 1783 г. въ булонскомъ лѣсу состоялся первый подъемъ свободнаго шара съ двумя людьми, а именно съ Пилатромъ де Розье и маркизомъ д'Арландъ. Шаръ былъ монгольфьеръ, около 18 м. въ поперечникѣ и 3000 куб. м. по объему; онъ былъ снаряженъ очень богато, какъ видно изъ рис. 192, представляющаго подъемъ согласно старинному изображенію. Оба смѣлые воздухоплаватели сидѣли въ корзинкѣ, прикрѣпленной у нижняго отверстія шара; они взяли большой запасъ стружекъ и шерсти, съ помощью котораго поддерживали постоянный огонь подъ отверстіемъ шара. Шаръ поднялся на 150 метровъ и вѣтромъ былъ отнесенъ на 8 километровъ черезъ Сену въ сторону южной части Парижа. Спустя полчаса огонь былъ залитъ водой, взятой нарочно съ этой цѣлью, и шаръ спустился спокойно невредимымъ на землю.



193. Первый подъемъ Шарля и Робера на шарльерѣ 1 декабря 1783 г. въ Тюльерійскомъ саду въ Парижѣ.

Десять дней спустя послѣ полета Розье и д'Арланда, предприняли полетъ Шарль и Робертъ съ значительно меньшимъ шаромъ, всего около 500 куб. метр. содержанія. Этотъ послѣдній шаръ однако былъ гораздо лучше снаряженъ; для выпуска газа шаръ былъ снабженъ клапа-

номъ, который можно было открывать и закрывать снизу помощью веревки; шелковая прочная сѣтка охватывала верхнюю половину шара, оканчиваясь внизу обручемъ, который опоясывалъ шаръ посрединѣ и поддерживалъ помощью веревокъ гондолу съ сидѣньями для двухъ лицъ. Вѣсъ гондолы такимъ образомъ былъ распредѣленъ равномѣрно по всей верхней половинѣ шара. Какъ въ цѣломъ, такъ и въ наиболѣе важныхъ подробностяхъ этотъ шаръ уже имѣлъ такое снаряженіе, какое обыкновенно употребляется и въ наше время. Подъемъ послѣдовалъ изъ сада въ Тюльери. Шарль взялъ съ собой барометръ и термометръ для измѣренія на разныхъ высотахъ атмосфернаго давленія и температуры. Шаръ поднялся на высоту около 600 м. и пролетѣлъ 40 километровъ, пока начался спускъ; Шарль вышелъ первый, но въ тотъ моментъ, когда онъ оставилъ гондолу, шаръ съ большой скоростью снова вдругъ поднялся на высоту, такъ какъ вслѣдствіе уменьшенія вѣса получилъ снова большую подъемную силу. Прямо передъ этимъ зашло солнце; Робертъ при новомъ значительномъ подъемѣ увидалъ вторично солнце и пережилъ такимъ образомъ черезъ полчаса вторичный закатъ въ одинъ и тотъ же вечеръ. При второмъ подъемѣ шаръ поднялся сперва на высоту выше 3000 метровъ, слѣдовательно въ 20 разъ выше, чѣмъ монгольфьеръ съ Розье и д'Арландомъ. Неслыханно большій шаръ былъ построенъ нѣсколькими недѣлями позже въ Ліонѣ, вмѣстимостью въ 14 000 куб. м. Это былъ монгольфьеръ, подъ которымъ во время полета поддерживали огонь; шаръ достигъ только 800 м. высоты и только четверть часа оставался въ воздухѣ. Семь лицъ приняли участіе въ воздушномъ путешествіи на этомъ шарѣ-исполинѣ, въ томъ числѣ Пилатръ де Розье и старшій Монгольфьеръ.



194. Воздушный шаръ Бланшара съ парашютомъ.

Затѣмъ послѣдовали во Франціи и позже также и въ другихъ странахъ очень многочисленные полеты на воздушныхъ шарахъ, изъ которыхъ только нѣкоторые могутъ вызвать особенный интересъ.

Воздухоплаванье сдѣлалось ремесломъ; появилось много профессіоналовъ-воздухоплавателей, которые ради наживы денегъ совершали многочисленные подъемы, какъ это дѣлается и въ настоящее время. При этомъ они старались всегда найти для публики новыя приманки и раздраженія. Такъ, Тесту-Брисси поднялся на шарѣ особой формы и притомъ сидя на лошади.

Слѣдуетъ упомянуть здѣсь о первомъ въ истинномъ смыслѣ слова воздушномъ путешествіи, именно напередъ намѣченный полетъ на шарѣ изъ Англіи черезъ каналъ во Францію, каковой полетъ былъ совершенъ въ 1785 г. Бланшаромъ и американцемъ Жефрисомъ. Бланшаръ началъ еще нѣсколько лѣтъ раньше свою многолѣтнюю дѣятельность воздухоплавателя по призванію. Оба мечтали о примѣненіи крыльевъ и колесъ для управленія шаромъ, а также дѣлали попытки регулировать подъемъ и спускъ; далѣе Бланшаръ помѣстилъ между шаромъ и гондолой особый парашютъ. Рис. 194 показываетъ снаряженный такимъ образомъ шаръ. Раньше уже Робертъ пытался примѣнить къ движенію шара весла и позже паруса, но безъ успѣха. Шаръ, снабженный балластомъ, поднялся въ Дуврѣ и вскорѣ затѣмъ сѣверо-западнымъ вѣтромъ былъ отнесенъ въ море въ направленіи къ Калэ. Тотчасъ же обнаружилось, что наполненіе недостаточно и для облегченія

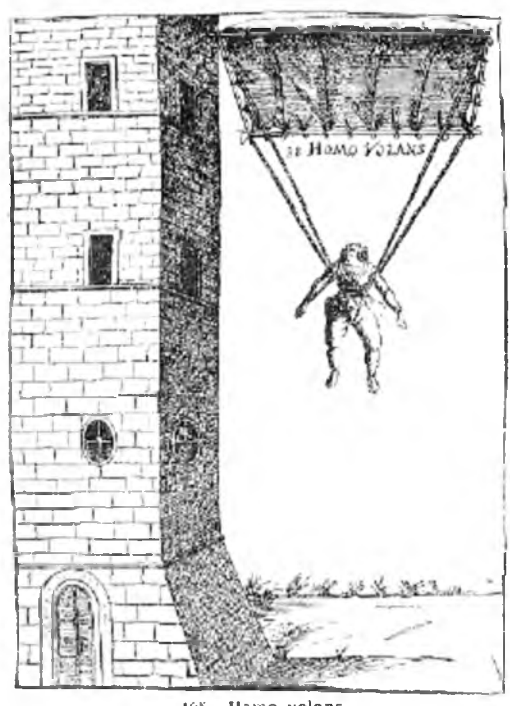
пришлось выбросить большую часть балласта сейчасъ же послѣ подъема; несмотря на то, шаръ началъ спускаться, пройдя только одну треть пути надъ каналомъ. Тогда, чтобы не упасть въ море, пришлось выбросить одно за другимъ остатокъ балласта, приборы, тяжелую одежду, якорь и весла. Несмотря на все, шаръ падалъ и совершенно достигъ воды; оставалось только одно средство уменьшить вѣсъ — это уцѣпиться за сѣтку шара и пожертвовать корзиной (гондолой). Оба воздухоплавателя уже приготовились лѣзть по веревкамъ наверхъ, какъ шаръ снова поднялся; теперь они увидѣли землю и городъ Кале и черезъ короткое время спустились въ лѣсу. Спустя полгода одинъ изъ двухъ первыхъ воздухоплавателей, Пилатръ Розье, вмѣстѣ со своимъ товарищемъ поплатился жизнью во время своей попытки совершить перелетъ изъ Франціи въ Англію. Шаръ, построенный по идеѣ Розье, представлялъ опасное соединеніе монгольфьера съ шарльеромъ; снизу подъ шаромъ, наполненнымъ водородомъ, находилась цилиндрическая часть, въ которой долженъ былъ разрѣжатся воздухъ посредствомъ поддерживаемаго огня. Несмотря на всѣ предостереженія, особенно со стороны своего друга, Шарля, Розье рѣшился на свое рискованное предпріятіе, за которое ему пришлось заплатить жизнью. Клапанъ испортился, газъ выбросило наружу, и шаръ стремительно упалъ на землю; оба воздухоплавателя были убиты при паденіи. Такимъ образомъ первый воздухоплаватель былъ и первой жертвой воздухоплаванья.

Полеты на воздушныхъ шарахъ позже полюбились повсюду; съ тѣхъ поръ въ теченіе ста лѣтъ до настоящаго времени полеты большей частью служили для народныхъ развлеченій. Изъ болѣе извѣстныхъ воздухоплавателей-профессіоналовъ здѣсь можно назвать: Бланшара и его жену; Гарнерина и его племянницу Элизу; Робертсона; Коксвелля; Шарля, который совершилъ больше 1600 подъемовъ, и его сына Жоржа; Годара, который былъ душой предпріятія съ полетами на воздушныхъ шарахъ при осадѣ Парижа въ 1870 г.; братьевъ Тиссандіе; несчастныхъ Кроче-Спинелли и Сивеля; также въ недавнее время Глешера, сдѣлавшаго значительное число очень высокихъ подъемовъ. Шарль Гринъ имѣетъ за собой заслугу предложеніемъ употреблять для наполненія свѣтильный газъ вмѣсто водорода, дорого стоющаго и требующаго большихъ хлопотъ при приготовленіи. Свѣтильный газъ, хотя и значительно тяжелѣе водорода, во всякомъ случаѣ еще въ $2^1/_2$ раза легче воздуха и кромѣ того имѣетъ то преимущество, что въ большинствѣ городовъ его можно легко получить безъ особыхъ приготовленій, соединивъ только помощью широкаго рукава шаръ съ городскимъ газопроводомъ.

Здѣсь могутъ быть упомянуты еще нѣкоторые воздушные полеты, какъ имѣющіе особый интересъ. Старшій изъ двухъ Гриновъ поднялся однажды въ 1836 г. съ двумя пассажирами изъ Лондона. Шаръ понесся при вечернихъ сумеркахъ къ морю; ночью они носились надъ моремъ, затѣмъ увидѣли огни въ французскомъ портѣ Калэ; перешли каналъ. Они неслись далѣе, чрезъ Калэ и другія мѣста, въ полночь миновали Люттихъ, пронеслись надъ Бельгіей и Рейнской провинціей. На разсвѣтѣ они спустились около Вейбурга въ Нассау, пройдя въ 19 часовъ 670 килом. Огромный шаръ построилъ Надаръ въ шестидесятыхъ годахъ въ Парижѣ; „Гигантъ“ имѣлъ вмѣстимость въ 6000 куб. м. и предназначался для болѣе продолжительныхъ путешествій. Вмѣсто обычной гондолы шаръ поддерживалъ двухъэтажный домикъ, сдѣланный изъ испанскаго камыша; домъ заключалъ полное снаряженіе для путешествія нѣсколькихъ лицъ на нѣсколько дней; столы, стулья, кровати, провизію, фотографическіе приборы и инструменты. Послѣ перваго подъема шаръ скоро спустился на землю. Второй подъемъ начался лучше, но кончился совсѣмъ плохо; управлялъ шаромъ воздухоплаватель Годаръ; кромѣ него летѣли еще восемь лицъ, въ томъ числѣ Надаръ и его жена. Ночь пролетѣли и неособенно высоко; подъ утро воздухоплаватели разсчитывали находиться надъ Голландіей, и изъ опасенія близости моря было рѣшено спуститься, но клапанъ открылся недостаточно, и шаръ, хотя и спускался, имѣлъ значительную подъемную силу; какъ только домикъ коснулся земли, онъ сію же минуту

поднялся снова вверхъ. Подхваченный сильнымъ вѣтромъ, шаръ стремительно несся, дѣлая огромные скачки по полямъ, кустамъ и канавамъ; якорь былъ потерянъ въ самомъ началѣ. Шаръ перелетѣлъ черезъ желѣзнодорожное полотно, причемъ оборвалъ телеграфные провода; внутри шара при этомъ ужасномъ путешествіи все было перевернуто. Выкидывая балластъ, удалось заставить шаръ снова подняться; тогда Надаръ поднялся по сѣткѣ, чтобы открыть вполнѣ клапанъ; это удалось, и наконецъ шаръ спустился на землю. Вѣтеръ понесъ его на лѣсокъ, гдѣ онъ и повисъ на деревьяхъ. Всѣ получили болѣе или менѣе серьезныя поврежденія, переломы костей и тяжкія ушибы, но всѣ остались живы. Шаръ спустился въ Германіи вблизи Везера.

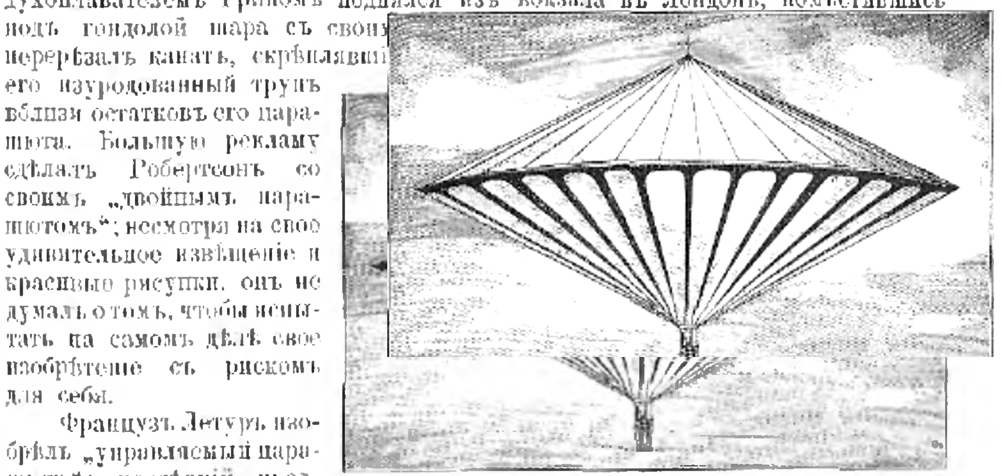
Парашютъ. Съ возрастаніемъ числа подъемовъ на воздушныхъ шарахъ приходилось подумать о предохранительныхъ средствахъ на случай несчастій; напр., если шаръ лопнетъ или, что случается чаще, газъ вытечетъ, вслѣдствіе негерметичности или порчи клапана. Чтобы въ такихъ случаяхъ ослабить скорость и силу паденія внизъ, примѣняютъ парашюты различной формы и устройства. Первыя предложенія о способѣ имѣть возможность упасть внизъ съ всякой высоты, какъ бы она велика ни была, безъ страха передъ опасностью, были сдѣланы уже упомянутымъ раньше знаменитымъ итальянскимъ живописцемъ и естествоиспытателемъ Леонардо да Винчи; онъ предполагалъ съ этой цѣлью примѣнить четырехугольный плотно натянутый шатеръ. Объ этомъ предложеніи упоминаетъ одно описаніе о летающемъ человѣкѣ „Homo volans" съ рисункомъ (см. рис. 195) въ книгѣ, появившейся въ 1695 г. подъ заглавіемъ „Новыя машины". Для практическаго употребленія сдѣланъ и впервые благополучно примѣненъ былъ парашютъ французомъ Себастьяномъ Ленорманъ въ Монпелье въ 1783 г. Послѣдній изъ двухъ соединенныхъ палками дождевыхъ зонтиковъ въ 1,02 м. діаметрѣ сдѣлалъ парашютъ, съ помощью котораго и прыгалъ внизъ съ дерева. Концы стержней зонтика изъ китоваго уса были такъ соединены и скрѣплены, чтобы парашютъ не могъ перевернуться. Онъ построилъ еще больше парашютъ, который состоялъ изъ плотнаго полотна и представлялъ растянутый конусъ 4 метра въ діаметрѣ и 2 метра высотой; снизу по окружности было прикрѣплено нѣсколько веревокъ, которыя и должны были поддерживать человѣка. Устройство было очень простое; Монгольфьеръ и Бланшаръ дѣлали съ парашютомъ опыты на большихъ высотахъ, но исключительно съ животными и тяжестями; напротивъ, Гарнеринъ — впервые въ 1797 г. въ Парижѣ на спускъ изъ шара. Онъ воспользовался для этой цѣли парашютомъ около 7,8 м. въ діаметрѣ и по формѣ представляющемъ полное сходство съ обыкновеннымъ дождевымъ зонтикомъ; при спускѣ парашютъ сильно раскачивался изъ стороны въ сторону, и спускъ на землю не былъ совершенно благополученъ, смѣлый воздухоплаватель вывихнулъ ногу. Чтобы помѣшать раскачиванью, стали впослѣдствіи дѣлать въ серединѣ парашюта наверху отверстіе, черезъ которое могъ бы постепенно выходить воздухъ, сжатый подъ парашю-



195. Homo volans.

томъ. Примѣръ Гарнерина вызвалъ подражаніе; особенно его жена, воздухоплавательница, нисколько не уступавшая ему въ смѣлости, часто спускалась внизъ съ помощью парашюта при подъемахъ шара на большую высоту. При хорошемъ притомъ во всѣхъ отношеніяхъ устройствѣ парашютъ дѣйствительно обезпечивалъ достаточное замедленіе скорости паденія на столько, чтобы спуститься благополучно на землю безъ сильнаго толчка. Какъ было уже упомянуто, Бланшаръ примѣнилъ парашютъ, непосредственно прикрѣпленный внизу шара, какъ спасительный снарядъ.

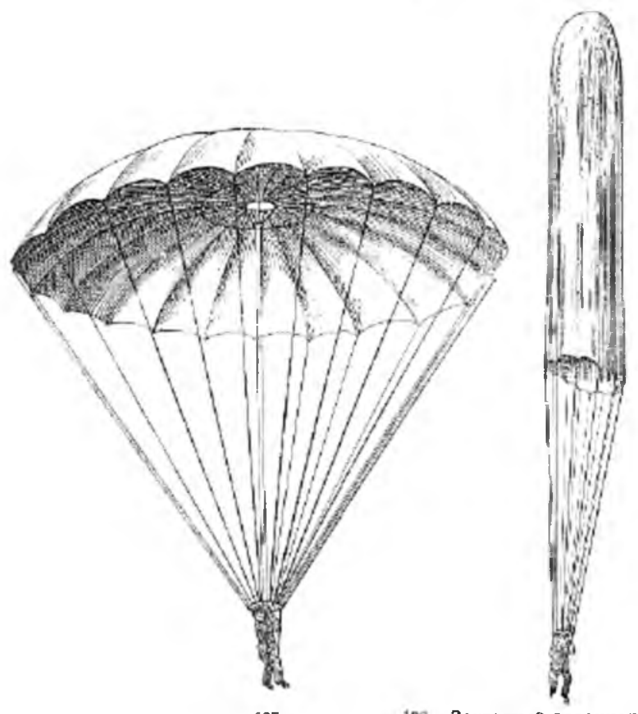
Чтобы устранить совершенно толчки, англичанинъ Кокингъ на основаніи научныхъ изслѣдованій устроилъ обращенный парашютъ съ открытой стороной на верху (см. рис. 196). Его теоретическія соображенія нашли сочувствіе; однако, когда въ 1836 г., полагаясь на справедливость своей теоріи, онъ рѣшился на прыжокъ съ большой высоты, онъ жизнью заплатилъ за свою смѣлость. Несмотря на серьезныя предостереженія, онъ вмѣстѣ съ воздухоплавателемъ Гриномъ поднялся изъ вокзала въ Лондонѣ, помѣстившись подъ гондолой шара съ своимъ парашютомъ; когда Гринъ перерѣзалъ канатъ, скрѣплявшій ихъ, Кокингъ полетѣлъ внизъ; нашли его изуродованный трупъ вблизи остатковъ его парашюта. Большую рекламу сдѣлалъ Робертсонъ со своимъ „двойнымъ парашютомъ“; несмотря на свое удивительное извѣщеніе и красивые рисунки, онъ не думалъ о томъ, чтобы испытать на самомъ дѣлѣ свое изобрѣтеніе съ рискомъ для себя.


196. Парашютъ Кокинга.

Французъ Летуръ изобрѣлъ „управляемый парашютъ“; послѣдній представлялъ большой зонтикъ съ лопастями и съ рулемъ. Въ 1854 г. въ Лондонѣ онъ поднялся на шарѣ съ воздухоплавателемъ Адамъ на высоту; но, когда согласно программѣ должны были быть обрѣзаны веревки, оказалось, что онѣ запутались около парашюта. Шаръ между тѣмъ быстро падалъ, парашютъ нельзя было распустить, и несчастный Летуръ передъ спускомъ былъ протащенъ черезъ лѣсъ и убитъ.

Въ заключеніе слѣдуетъ упомянуть еще о парашютѣ Леру, который этотъ послѣдній примѣнялъ неоднократно въ Германіи въ послѣднее десятилѣтіе. Парашютъ сдѣланъ изъ шелка и представляетъ въ растянутомъ состояніи шаровой сегментъ съ нижнимъ діаметромъ въ 10 м. (рис. 197) и съ отверстіемъ въ 15 см. на верхней части сегмента. Нѣсколько веревокъ, прикрѣпленныхъ у края парашюта, соединяются въ кольцѣ, въ которомъ виситъ воздухоплаватель. Не въ распущенномъ состояніи парашютъ представляетъ длинный мѣшокъ, причемъ нижній его край стянутъ легкимъ деревяннымъ кольцомъ; это кольцо можетъ двигаться по шнурамъ, идущимъ отъ окружности къ центру. Леру при прыжкѣ съ шара держитъ это кольцо короткое время неподвижнымъ, такъ что парашютъ не можетъ распуститься: онъ летитъ вначалѣ съ страшной скоростью, что при представленіяхъ всегда производитъ особенно сильное впечатлѣніе на зрителей; затѣмъ онъ освобождаетъ веревку, деревянное кольцо поднимается вверхъ, и парашютъ раскрывается подъ дѣйствующимъ снизу давленіемъ воздуха.

Военное воздухоплаванiе. Уже съ давняго времени французы пользовались на войнѣ привязными шарами на длинныхъ канатахъ, чтобы съ высоты разсмотрѣть непрiятельскiя позицiи. Въ сѣверо-американскую гражданскую войну воздухоплавательный паркъ оказалъ важныя услуги. Но наиболѣе извѣстнымъ сдѣлалось примѣненiе воздушнаго шара при осадѣ Парижа въ послѣднюю франко-прусскую войну. Кромѣ привязного шара, служившаго для изученiя расположенiя нѣмецкихъ войскъ и ихъ передвиженiй, во время осады было спущено не менѣе 65 шаровъ, спустившихся въ разныхъ мѣстахъ. Изъ этихъ послѣднихъ пять попали въ руки нѣмцевъ и два пропали. Шары служили для того, чтобы получать точное извѣстiе изъ провинцiй послѣ того, какъ обложенiе было вполнѣ закончено, и всякiя средства сообщенiя такъ же, какъ и подземные телеграфные провода, прерваны. Шары были почти всѣ одинаковой конструкцiи и одной и той же величины около 2000 куб. метр. вмѣстимости. Они служили для доставки частью писемъ и денегъ, частью также и людей. Такъ, Гамбетта покинулъ столицу, чтобы въ провинцiяхъ, не занятыхъ нѣмцами, организовать нацiональную оборону и продолжать войну до послѣдней капли крови. На шарахъ было взято изъ Парижа много голубей, которые снова приносили важныя извѣстiя изъ провинцiй въ столицу.



197. Парашютъ Леру. 198. Закрытый парашютъ во время прыжка.

Конечно нѣкоторые изъ шаровъ плохо достигали своей цѣли. Отважный полетъ сдѣлали въ ноябрѣ одинъ воздухоплаватель и офицеръ, которые должны были донести Гамбеттѣ важное извѣстiе о предположенной большой вылазкѣ Трошю. Они поднялись вечеромъ изъ Парижа и увидѣли себя къ своему ужасу на разсвѣтѣ надъ открытымъ моремъ, причемъ земли нигдѣ не было видно кругомъ. Они видѣли много кораблей, проходившихъ подъ ними, но ихъ сигналы или не были замѣчены или же кораблямъ не удавалось приблизиться къ нимъ настолько, чтобы имѣть возможность ихъ спасти. Послѣ того, какъ шаръ потерялъ значительно въ подъемной силѣ и балластъ почти весь былъ выброшенъ, они достигли земли; они счастливо выскочили изъ корзины, послѣ чего шаръ снова поднялся на воздухъ. Теперь имъ пришлось въ чужой, покрытой снѣгомъ и льдомъ странѣ, голоднымъ и замерзшимъ долго разыскивать, пока они нашли помощь, причемъ выяснилось, что они залетѣли въ Норвегiю.

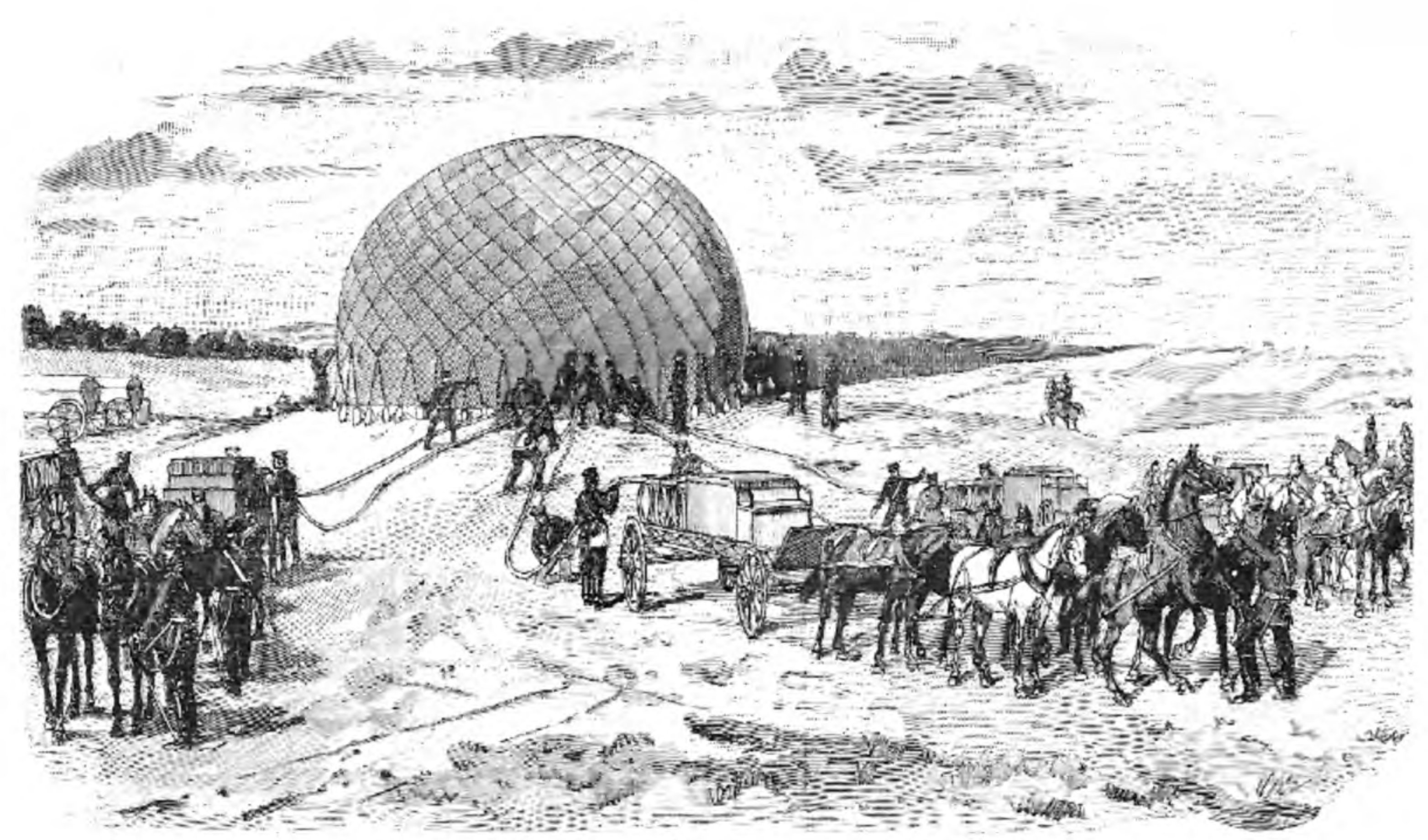
Также и въ нѣмецкой и др. армiяхъ уже нѣсколько лѣтъ воздухоплаванiю посвящено большое вниманiе. Образовался кружокъ воздухоплавателей изъ выдающихся офицеровъ и лицъ изъ общества, которые совершили много учебныхъ полетовъ на собственномъ шарѣ.

Обычное наполненіе воздушнаго шара свѣтильнымъ газомъ на городскихъ газовыхъ заводахъ, вполнѣ примѣнимое для военнаго воздухоплаванія при учебныхъ полетахъ въ мирное время, является совершенно непригоднымъ на войнѣ. Наполненіе шаровъ долго представляло большія затрудненія, такъ какъ весь успѣхъ военнаго воздухоплаванія значительно зависитъ отъ простого метода наполненія, удобно примѣнимаго на войнѣ. Уже нѣсколько лѣтъ какъ этотъ вопросъ можно считать рѣшеннымъ системой, давно примѣнявшейся англійскимъ правительствомъ и наконецъ, благодаря измѣнѣ, сдѣлавшейся общимъ достояніемъ. Газъ болѣе не добывается обычнымъ затруднительнымъ способомъ, причемъ поѣздъ въ 30 вагоновъ долженъ доставлять необходимые приборы и матеріалы. Теперь берутъ съ собой въ стальныхъ цилиндрахъ готовый водородный газъ подъ давленіемъ въ 120 атмосферъ. Каждый резервуаръ въ 24,4 метра длиной при $132^1/_2$ см. въ діаметрѣ содержитъ, около 3,9 куб. м. газа. Для наполненія помощью особаго приспособленія газъ изъ 34 или 68 такихъ резервуаровъ одновремено проводится въ шаръ. Для военнаго шара обыкновенной величины въ 300 куб. метр. требуется всего 80 такихъ резервуаровъ. Рис. 204 представляетъ наполненіе шара нѣмецкаго воздухоплавательнаго парка на маневрахъ. Повозки съ цилиндрами поставлены у наполняемаго шара и резервуары одновременно или одинъ за другимъ помощью рукавовъ приводятся въ соединеніе съ шаромъ. На рисункѣ мы видимъ шаръ, наполовину уже наполненный.

Французское военное вѣдомство пользуется большими резервуарами, которые прикрѣплены неподвижно на повозкахъ: повозки должны доставлять 300 куб. м. газа, сжатаго до 200 атмосферъ, такъ что для наполненія нормальнаго, въ 540 куб. м. емкости, военнаго французскаго шара достаточно двухъ повозокъ. Все наполненіе можно произвести въ $^1/_4$ часа, тогда какъ прежде приготовленіе газа даже въ томъ случаѣ, когда все было на мѣстѣ и въ порядкѣ, отнимало по крайней мѣрѣ 3—4 часа. Теперь слѣдовательно можно передъ началомъ или во время сраженія въ любомъ мѣстѣ въ самое короткое время приготовить шаръ для подъема, между тѣмъ какъ прежде могло случиться, что шаръ впервые поднимался на воздухъ тогда, когда въ этомъ болѣе не было никакой цѣли.

При военномъ воздухоплаваніи какъ на маневрахъ, такъ и въ походѣ, имѣютъ дѣло только съ привязанными шарами. Только покидая осажденныя крѣпости, какъ въ упомянутомъ случаѣ обложенія Парижа, пользуются свободнымъ шаромъ. Привязные шары при тихой погодѣ позволяютъ подняться на высоту до 600 м.; съ такой высоты удобно дѣлать необходимыя наблюденія на значительное разстояніе. Сообщеніе команды шара съ войсками производится помощью телефона, проволоки котораго скрыты въ канатѣ; наброски или письменныя сообщенія могутъ быть также посылаемы въ гильзахъ помощью шнура какъ въ одну, такъ и въ другую сторону. Привязной шаръ удерживается или помощью крѣпкой, не особенно толстой проволочной струны, намотанной на лебедку на повозкѣ, или же людьми помощью четырехъ канатовъ-оттяжекъ. Такимъ образомъ можно шаръ перемѣстить въ тотъ или другой пунктъ мѣстности; послѣднее важно въ виду непріятельской стрѣльбы. На 1500 м. шаръ представляетъ хорошую цѣль для огня современныхъ ружей. и на разстояніи 5 километровъ еще является опасность отъ огня артиллеріи, если послѣдняя имѣетъ время пристрѣляться; чтобы послѣднему помѣшать, и приходится все время перемѣщать шаръ.

Опасности воздухоплаванія. Съ изобрѣтенія воздушнаго шара было совершено много тысячъ подъемовъ съ людьми, и при этомъ, по имѣющимся свѣдѣніямъ. 50 изъ этихъ подъемовъ кончились несчастно для жизни, причемъ большая часть этихъ несчастныхъ случаевъ приходится на монгольфьеры, хотя общее число подъемовъ этихъ послѣднихъ, по сравненію съ газовыми шарами, ничтожно.



199. Наполненіе шара нѣмецкой арміи.

Опасность воздушныхъ полетовъ на шарахъ, наполненныхъ газомъ, такимъ образомъ очень невелика; если не считать явленій природы, напр. грозъ, то опасность главнымъ образомъ заключается при подъемѣ и особенно при спускѣ на землю. При подъемѣ шаръ можетъ быть прижатъ вѣтромъ къ находящимся вблизи высокимъ зданіямъ, башнямъ, фабричнымъ трубамъ; при спускѣ опасность заключается въ томъ, чтобы найти удобное мѣсто для якоря, т.-е. открытое поле, лугъ или пашню, гдѣ бы якорь, брошенный на веревкѣ, могъ хорошо зацѣпиться. Если послѣдній не зацѣпился прочно, тогда шаръ или станетъ волочиться вѣтромъ по землѣ на большое разстояніе, или шаръ начинаетъ дѣлать по полю гигантскіе дугообразные скачки, причемъ при каждократномъ ударѣ гондолы шаръ мгновенно облегчается и подымается съ новой подъемной силой, пока газъ настолько не вытечетъ, что снарядъ остается лежать. Еще опаснѣе спускъ надъ большимъ лѣсомъ или городомъ, причемъ шаръ не можетъ держаться достаточно долго на высотѣ, чтобы выиграть время и спуститься на открытомъ мѣстѣ. Въ такомъ случаѣ гондола начинаетъ цѣпляться за верхушки деревъ или крыши домовъ, пока не разобьется вдребезги или, въ благопріятномъ случаѣ, пока не зацѣпится крѣпко.

Въ болѣе высокихъ слояхъ воздуха опасность полета мала, допуская, что шаръ плотный и прочный, такъ что онъ не разорвется и не потеряетъ много газа, при усиліи клапанъ дѣйствуетъ исправно и наконецъ, что шаръ имѣетъ достаточную подъемную силу и большой балластъ. Въ такомъ случаѣ можно какъ угодно руководить подъемомъ и спускомъ; чтобы подняться на высоту, выбрасываютъ подвѣшанные къ гондолѣ снаружи мѣшки съ пескомъ; для спуска же открываютъ клапанъ и выпускаютъ газъ. Вѣтеръ, даже значительной силы, не имѣетъ такихъ дурныхъ послѣдствій, какъ можно было бы думать, такъ какъ шаръ составляетъ какъ бы часть воздушнаго потока, двигается съ той же скоростью, какъ и вѣтеръ, и воздухоплаватель замѣчаетъ такъ же мало, какъ путешественникъ въ поѣздѣ желѣзной дороги скорость послѣдняго.

На большихъ высотахъ главная опасность скорѣе заключается въ болѣзненныхъ явленіяхъ при дыханіи. Страданія этого рода въ новѣйшее время изучены тщательнѣе; они имѣютъ причину отчасти въ очень слабомъ атмосферномъ давленіи, имѣющемъ мѣсто на большихъ высотахъ, и къ которому человѣческій организмъ въ короткое время подъема шара не успѣваетъ привыкнуть, съ другой стороны въ слишкомъ маломъ количествѣ кислорода, содержащагося въ разряженномъ воздухѣ, и котораго недостаточно для дыханія. Имѣютъ мѣсто такія же явленія, какія наблюдаются при подъемѣ на высокія горы и которыя извѣстны подъ однимъ общимъ именемъ горной болѣзни. Появляется сильное утомленіе и слабость; сильный приливъ крови къ головѣ, паденіе пульса, синяя и даже черная окраска губъ, кровотеченіе изо рта и ушей, наконецъ можетъ послѣдовать смерть отъ удушенія. Профессоръ Павелъ Бертъ изъ Парижа показалъ опытами надъ животными, а также надъ самимъ собой, что главная причина этихъ явленій заключается въ недостаткѣ кислорода. Онъ садился въ ящикъ съ сгущеннымъ воздухомъ и сильно разжижалъ воздухъ въ ящикѣ помощью насоса; при этомъ обнаружились всѣ явленія, какія наблюдаются при воздушныхъ полетахъ и при восхожденіяхъ на горы; какъ скоро онъ вдыхалъ изъ мѣшка кислородъ, нѣменіе и духовное усыпленіе тотчасъ прекращались. Важность этого открытія для воздухоплаванія была сейчасъ же понята; принято брать съ собой достаточный запасъ сжатаго кислорода, чтобы имѣть возможность подыматься на такія высоты, которыхъ раньше нельзя было стремиться достигнуть въ виду опасности для жизни. Первыя попытки, имѣя запасъ кислорода, подняться на высоту, кончились однако смертью для двухъ воздухоплавателей,

Сивеля и Кроче-Спинелли. Оба такъ же, какъ и третій, Гастонъ Тиссандье, который принималъ участіе въ этомъ роковомъ полетѣ, были хорошо испытанные, весьма свѣдущіе и осмотрительные воздухоплаватели; при своихъ воздушныхъ путешествіяхъ они вели и научныя наблюденія и на этомъ основаніи получили вспомоществованіе отъ французскаго правительства, какъ научное общество. При прежнемъ подъемѣ въ 1874 г. была достигнута высота въ 7400 м.; послѣ опытовъ Павла Берта эти три воздухоплавателя вошли съ нимъ въ сношеніе и рѣшили въ слѣдующемъ году предпринять сообща полетъ, чтобы достигнуть еще болѣе значительной высоты. Подъемъ былъ произведенъ съ шаромъ „Зенитъ", принадлежащимъ Сивелю, съ полнымъ оборудованіемъ для различныхъ научныхъ наблюденій и изслѣдованій и съ нѣсколькими подушками кислорода. Запасъ послѣдняго однако былъ слишкомъ скуденъ; *поэтому они обходились съ нимъ очень бережливо и рѣшили* впервые подкрѣпиться, когда опасность была уже велика. О всемъ пути полета сообщилъ единственный оставшійся въ живыхъ Тиссандье. На высотѣ въ 7000 м. и при температурѣ 10° ниже нуля, они почувствовали себя очень слабыми и стали вдыхать кислородъ, что ихъ снова подкрѣпило; тогда балластъ былъ еще разъ выброшенъ и шаръ поднялся быстро до 8000 м. Тиссандье чувствовалъ головокруженіе и такую слабость, что онъ не могъ болѣе держать трубку отъ прибора для всасыванія кислорода, онъ впалъ въ обморокъ. Когда онъ снова пришелъ въ себя, шаръ быстро падалъ. Сивель и Кроче лежали безъ сознанія въ гондолѣ, тогда Тиссандье снова впалъ въ полубезсознательное состояніе: онъ смутно вспоминаетъ, что Кроче снова подошелъ къ нему и выбросилъ балластъ и содержимое гондолы. Шаръ падалъ съ большой скоростью внизъ. Тиссандье опять пришелъ въ себя настолько, *что могъ, собравъ всѣ свои силы,* выбросить *якорь и при спускѣ* открыть клапанъ; его оба товарища были между тѣмъ мертвы.

Послѣ этого полета подобное несчастье уже не повторялось; если теперь воздухоплаватели ради научныхъ цѣлей хотятъ подняться на большую высоту, они запасаются большимъ избыткомъ кислорода, чтобы имѣть возможность съ извѣстной высоты правильно имъ подкрѣпляться.

Въ новѣйшее время воздушныя путешествія предпринимались главнымъ образомъ съ военными и научными цѣлями; люди науки поднимались на шарахъ тщательной конструкціи и снаряженія, снабженныхъ точными и безопасными аппаратами и измѣрительными инструментами, дабы получить свѣдѣнія относительно высшихъ слоевъ нашей атмосферы, относительно температуры, содержанія влаги, направленія и силы движеній воздуха, содержанія электричества въ воздухѣ и облакахъ и т. п. Воздушный полетъ все болѣе и болѣе *теряетъ* характеръ труднаго, полнаго опасностей спорта, превращаясь въ дѣло, плодотворное въ научномъ отношеніи, установленное по извѣстнымъ правиламъ и преслѣдующее опредѣленную серьезную цѣль. Конечно, въ видѣ исключенія, и вскорѣ послѣ изобрѣтенія воздушнаго шара предпринимались воздушные полеты съ научными цѣлями; такъ, уже въ 1784 году американецъ Джеффрисъ поднялся въ высь на воздушномъ шарѣ, чтобы измѣрить на большихъ высотахъ температуру и влажность воздуха и вывести съ собою образчики воздуха. Уже съ давняго времени главнымъ образомъ стремились къ тому, чтобы достичь на воздушномъ шарѣ возможно большихъ высотъ; такъ, въ 1803 г. Робертсонъ и А'Гольстъ достигли при поднятіи приблизительно 7400 метровъ высоты. Чтобы съ большею точностью провѣрить научныя наблюденія, какъ этого, такъ и болѣе поздняго подъема Робертсона въ Петербургѣ, при поддержкѣ французской академіи двое искусныхъ молодыхъ ея членовъ, Гей-Люссакъ и Біо предприняли съ прекраснымъ снаряженіемъ подъемъ до 4000 мет. высоты; вскорѣ послѣ этого Гей - Люссакъ еще разъ поднялся одинъ съ намѣреніемъ пройти въ выси насколько вообще

возможно высоко и дошелъ до 9000 м., наибольшей высоты, которая достигалась до него и долгое время послѣ него.

Позднѣе особенно отличились Гринъ, Коксвель, сдѣлавшійся извѣстнымъ въ Германіи своими многочисленными воздушными полетами, главнымъ образомъ изъ Лейпцига, и въ Англіи Глэшеръ черезъ достиженіе очень значительныхъ высотъ. Послѣдній преднринялъ по инпціативѣ англійскихъ ученыхъ и научныхъ англійскихъ обществъ, совмѣстно съ ними, въ 1862—66 гг. серію изъ 28 полетовъ съ цѣлью подняться до большихъ достижимыхъ высотъ, которые и принесли много цѣннаго, научнаго матеріала. Замѣчательнѣйшій изъ нихъ послѣдовалъ вмѣстѣ съ Коксвеллемъ изъ англійскаго города Вольвергамптона. Въ 45 мин. была достигнута высота въ 8000 м.; здѣсь Глэшеръ ослабѣлъ и на 1500 м. выше потерялъ способность дѣйствовать своими членами и безъ силъ упалъ навзничь. Температура была — 15° С., а барометръ стоялъ на 25 см. Тогда Коксвелль хотѣлъ открыть клапанъ, но веревка отъ клапана запуталась, и онъ былъ принужденъ карабкаться по сѣткѣ, чтобы ее распутать. Когда онъ снова возвратился въ корзину, руки у него были отморожены, но ему удалось потянуть за веревку клапана зубами и выпустить настолько газа, что шаръ сталъ опускаться. Вскорѣ Глэшеръ пришелъ въ сознаніе и тотчасъ же обратился опять къ записи показаній своихъ инструментовъ. Въ то время, когда онъ былъ безъ сознанія, Коксвелль замѣтилъ низшее положеніе барометра въ 18 см.; достигнутая высота исчислялась около 11 000 м. Температура при этомъ по показанію минимальнаго термометра понизилась до — 25° С. $1^1/_2$ часа послѣ подъема они оба опустились на землю.

Изъ результатовъ изслѣдованій при многихъ полетахъ Глешера выясняется, что надъ З. Европой происходитъ теплое воздушное теченіе съ ю.-з., охватывающее пространство въ 600 м. по вертикальному направленію, подобно Гольфштрему въ Атлантическомъ океанѣ. Прежнее положеніе, что при каждыхъ 90 м. высоты температура падаетъ на 1°, было признано неточнымъ; чѣмъ болѣе высота, тѣмъ медленнѣе идетъ пониженіе температуры. Далѣе Глешеръ нашелъ, что на большой высотѣ скорость вѣтра больше, чѣмъ близко надъ земною поверхностью. О предпринятомъ съ научною цѣлью и такъ несчастно кончившемся полетѣ трехъ аэронавтовъ, Гастона Тиссандье, Сивеля и Кроче-Спинелли въ 1875 г., было уже упомянуто.

Въ Германіи за послѣднее десятилѣтіе особенно много послужили для развитія воздухоплавательной техники, главнымъ образомъ съ научными цѣлями, изслѣдованія и опыты отдѣла военнаго воздухоплаванія и „Германскій Союзъ для поощренія воздухоплаванія“, поддерживаемый правительствомъ и считающій въ числѣ своихъ членовъ выдающихся людей науки. Новый шаръ „Фениксъ“ является въ данное время совершеннѣйшимъ экземпляромъ въ своемъ родѣ. Онъ имѣетъ круглую форму, имѣетъ 17 метровъ въ діаметрѣ при 2630 к. м. емкости. Какъ шаръ, такъ и снаряженіе особенно тщательно устроены, монтированы при помощи всѣхъ техническихъ средствъ и другихъ изысканій и представляютъ много уклоненій противъ прежней практики. Такъ напримѣръ, оболочка устроена не изъ шелка, а изъ покрытой резиной бумажной матеріи; она почти абсолютно наполнена газомъ и имѣетъ значительную упругость. Наполняется онъ обыкновенно свѣтильнымъ газомъ; для большихъ высотъ примѣняется съ цѣлью достичь большей силы поднятія смѣсь послѣдняго съ водородомъ. Для спуска на землю „Фениксъ“ кромѣ якоря имѣетъ длинный гайдропъ въ 150 метр., который до спуска волочится по землѣ и такимъ образомъ задерживаетъ шаръ; съ другой стороны гайдропъ облегчаетъ шаръ, такъ какъ не нужно придерживать конецъ, волочащійся по землѣ. Шаръ летитъ такъ спокойно на незначительной высотѣ надъ землею, пока не найдется соотвѣтствующее мѣсто для

якоря, якорь не будетъ сброшенъ и спускной клапанъ открытъ. Такимъ образомъ прежніе опасные спуски очень облегчены. Въ количествѣ балласта берется отъ 700—1500 кгр. песку. Отправляются большею частью двое при поднятіи; при высокихъ поднятіяхъ берется резервуаръ съ сжатымъ кислородомъ для поддержки дыханія. Общій вѣсъ шара съ гондолой, снаряженіемъ, приспособленіями, инструментами доходитъ до 800 кгр.

Большая часть свободныхъ подъемовъ Союза происходила съ площади у королевскаго технико-физическаго института въ Шарлоттенбургѣ; большая же часть ихъ производилась со старымъ шаромъ „Гумбольдтъ" (2500 к. м. велич., до 1893 г.) и съ описаннымъ новымъ „Фениксъ". Полеты предпринимались во всякія времена года; иногда даже ночью; большая часть продолжалась до 5 час.; многіе свыше 10 ч. и одинъ 19 час. При одномъ полетѣ „Цирруса" было пройдено пространство свыше 1000 клм. въ воздухѣ и шаръ опустился въ Босніи. Наибольшая высота въ воздухѣ 9150 м. была достигнута „Фениксомъ" зимою 1894 г. При другомъ полетѣ, устроенномъ кап. Григомъ изъ воздухоплавательнаго отдѣла, съ тѣмъ же шаромъ, были занесены самопишущими приборами лучшія изъ полученныхъ до тѣхъ поръ точныхъ измѣреній и наблюденій въ высотѣ до 7930 м. При этомъ полетѣ въ самыхъ верхнихъ воздушныхъ слояхъ наблюдалась температура въ 48° ниже 0 по Цельсію. Несмотря на значительное вспомогательное средство, представляемое запасомъ кислорода для дыханія при полетахъ въ большія высоты, изысканія показываютъ, что для человѣка совершенно невозможно подниматься безъ прямой смертельной опасности свыше 9000 м. Для изслѣдованія атмосферы на еще значительно большихъ высотахъ найдено между прочимъ средство въ видѣ шара-зонда. Построены аппараты, которые, проходя въ воздухѣ въ продолженіе опредѣленнаго времени, сами измѣряютъ и заносятъ температуру и давленіе воздуха; таковые подвѣшиваются тщательнымъ образомъ къ небольшимъ шарамъ, которые свободно поднимаются съ возможно малымъ балластомъ и большою скоростью. Когда удастся послѣ паденія на землю найти такой регистрирующій баллонъ съ неиспорченными инструментами, діаграммы инструментовъ—коихъ функціонированіе указано полностью выше такъ, какъ оно достигнуто въ новѣйшихъ конструкціяхъ—даютъ точное свѣдѣніе объ условіяхъ на высотахъ, которыхъ никогда не достигало человѣческое существо. Шаръ-зондъ „Cyrrhus", поднявшійся въ сентябрѣ 1894 г. одновременно съ двумя шарами съ людьми „Фениксъ" и „Маіестикъ", благополучно спустился на землю въ Россіи послѣ $6^3/_4$-часового полета; регистрирующіе инструменты показали, что шаръ поднялся до 18 450 м. высоты, и что на этой высотѣ температура была—67° Ц., что превышаетъ наибольшій гдѣ-либо на земной поверхности наблюденный холодъ, который въ В. Сибири равняется—63° Ц.

Въ день этого полета на земной поверхности было затишье; двигавшійся *на высотѣ около 3000 метр. „Фениксъ" проходилъ черезъ господствующее* въ этомъ мѣстѣ воздушное теченіе со скоростью среднимъ числомъ 3 м. въ секунду, въ то время, какъ „Циррусъ" на высотѣ 18 000 м. подвигался впередъ со скоростью бури 40 м. въ секунду. При этомъ былъ полученъ такимъ образомъ важный въ научномъ отношеніи результатъ, что на большихъ высотахъ могутъ господствовать совершенно другія воздушныя теченія, чѣмъ на земной поверхности. На высотѣ свыше 7000 м. смѣна временъ года измѣняется; здѣсь господствуетъ вѣчный суровый холодъ.

До сихъ поръ полученные разрозненные результаты наблюденій изъ высшихъ слоевъ атмосферы при помощи шаровъ съ людьми и шаровъ-зондовъ даютъ возможность узнать причину, въ силу которой наука до сихъ поръ сдѣлала такіе относительно незначительные шаги впередъ. Всѣ наши инструменты, установленные на незначительной высотѣ надъ земною поверх-

*ностью, могутъ намъ дать свѣдѣніе относительно свойства и движенія непо*средственно окружающаго землю воздушнаго слоя; относительно всѣхъ явленій въ высшихъ слояхъ атмосферы мы остаемся въ неизвѣстности; но очевидно, что послѣдніе имѣютъ огромное вліяніе на измѣненіе погоды. Весьма вѣроятно, что правильная и систематическая организація спусковъ шаровъ-зондовъ послужитъ къ значительному развитію практическихъ свѣдѣній о погодѣ.

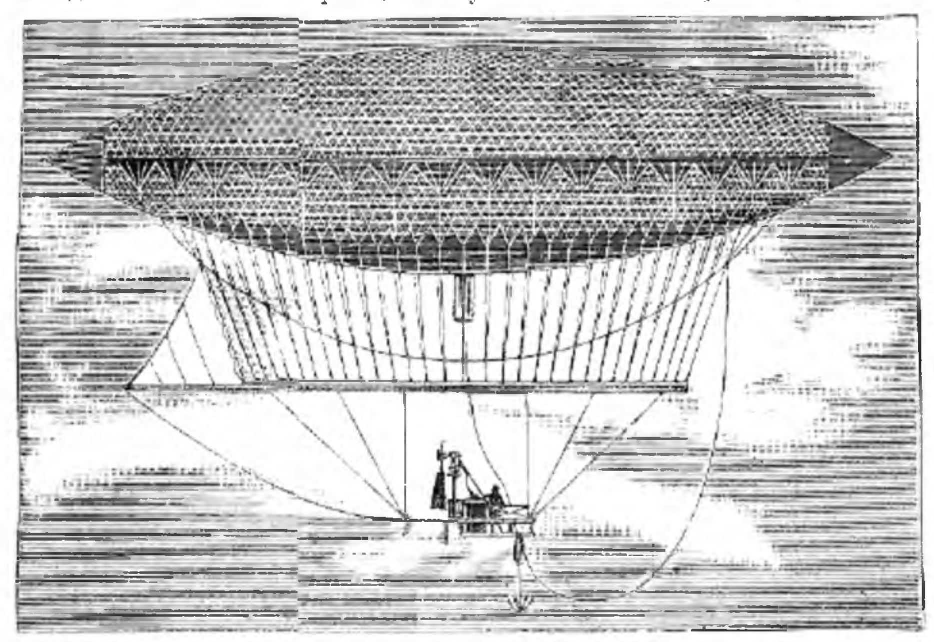
Задачи управляемаго шара. Уже съ давнихъ поръ работали надъ задачей приводить въ движеніе и управлять воздушнымъ шаромъ съ помощью *крыльевъ или винта при посредствѣ силы машинъ; о нѣкоторыхъ наиболѣе* интересныхъ опытахъ и предложеніяхъ здѣсь будетъ кстати кратко упомянуть.

Мысль о томъ, чтобы воспользоваться силой вѣтра для управленія шаромъ безъ всякаго сообщенія съ землей, какъ мы видѣли ранѣе, должна быть оставлена безъ вниманія. Раньше думали, что можно заставить двигаться шаръ въ воздухѣ въ любомъ направленіи или по крайней мѣрѣ управлять имъ помощью веселъ; однако различные опыты, какъ напр. предпринятые съ этой цѣлью въ 1784 г. въ Дижонѣ, показали безполезность такого предпріятія. Въ 1850 году Петинъ въ Парижѣ представилъ проектъ построить воздушный корабль для большого числа лицъ, въ которомъ 4 шара 27 м. въ діаметрѣ должны были поддерживать платформу (помостъ), длиной въ 140 м. и 60 м. ширины; къ рамѣ предполагалось прикрѣпить наклонную поверхность, которая вмѣстѣ съ парусомъ на переднемъ и заднемъ концахъ, должна была служить для управленія. Практическіе опыты съ такимъ сооруженіемъ не дошли до исполненія; но кстати сказать, что все устройство для руля совершенно непригодно. Весь воздушный корабль сдѣлался бы игрушкой вѣтра, какъ бы ни устанавливать паруса и наклонность поверхности.

Уже въ 1784 г., т.-е. сейчасъ послѣ изобрѣтенія воздушнаго шара американецъ Гопкинсонъ писалъ Веніамину Франклину по вопросу объ управленіи воздушнымъ шаромъ; шаръ долженъ былъ прежде всего вмѣсто шаровой формы имѣть удлиненную форму, чтобы представлять вѣтру меньшую поверхность; затѣмъ на заднемъ концѣ шаръ долженъ быть снабженъ легкимъ колесомъ съ наклонно стоящими лопастями, причемъ колесо приводится въ быстрое вращеніе рукояткой. Этотъ проектъ не получилъ широкаго распространенія; онъ показываетъ однако, что Гопкинсонъ уже имѣлъ правильныя воззрѣнія на примѣненіе къ воздухоплаванію пропеллера, хотя еще винтъ и не примѣнялся для движенія судовъ. Спустя 70 лѣтъ, ту же самую мысль впервые осуществилъ выдающійся французскій инженеръ Жиффаръ, примѣнивъ паровой двигатель. Онъ построилъ длинный, на концахъ заостренный шаръ 40 м. длиной и 2100 куб. м. емкости, къ которому подвѣшивалась платформа; послѣдняя поддерживала паровой котелъ для паровой машины, которая должна была приводить въ движеніе большой съ двумя лопастями винтъ съ горизонтальной осью для сообщенія шару движенія впередъ. Для управленія былъ привинченъ къ заднему концу шара треугольный рулевой парусъ, который при помощи веревки могъ быть поворачиваемъ отъ платформы вокругъ вертикальной жерди, и такимъ образомъ дѣйствовалъ какъ рулевое колесо. Общій вѣсъ шара съ снаряженіемъ составлялъ 1600 кгр. Жиффаръ поднялся съ нимъ въ 1852 г. въ Парижѣ на высоту до 1500 метр.; хотя онъ не могъ идти противъ вѣтра, ему все-таки удалось вывести значительно шаръ изъ направленія вѣтра.

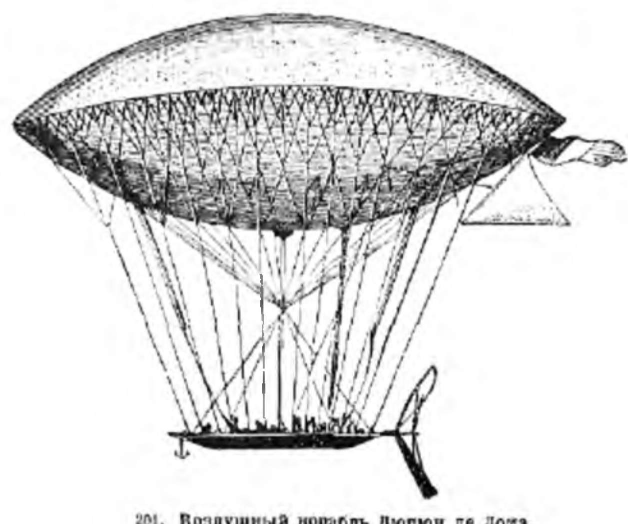
Двадцать лѣтъ спустя были снова предприняты изысканія его соотечественникомъ Dupuy de Lôme. Шаръ послѣдняго весьма схожъ съ шаромъ Жиффара; онъ имѣлъ 39 м. въ длину, содержалъ 3000 куб. м. водорода,

причемъ его подъемная сила составляла 4000 кгр. Шаръ несъ большую лодку, въ которой 12 лицъ поворачивали за рукоятки ось пропеллера; послѣднiй состоялъ изъ рамы, обтянутой шолковой тафтой, имѣющiй 6 м.



200. Паровой воздушный корабль Жиффара.

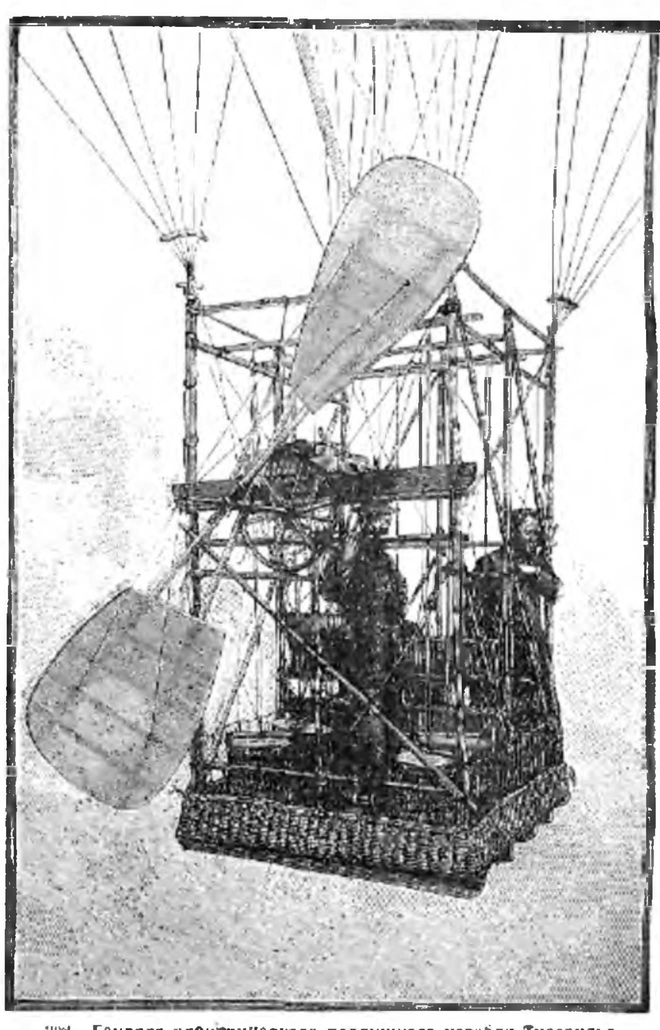
въ поперечникѣ. Дюпюи де Ломъ поднялся въ 1872 г. съ своимъ воздушнымъ кораблемъ и достигъ поступательнаго движенiя, которое было оцѣнено въ 9—10 клм. въ секунду съ боковымъ измѣненiемъ направленiя въ 12°. Результаты были не лучше, чѣмъ раньше у Жиффара; примѣненiе человѣческаго труда взамѣнъ силы машины можетъ считаться шагомъ назадъ. Основанiемъ къ послѣднему было опасенiе нагрѣвать паровой котелъ въ такой близости отъ большого количества воспламеняющагося газа, потому что черезъ искру могъ послѣднiй воспламениться. Отчасти по тому же соображенiю и Жиффаръ въ свое время прекратилъ свои опыты. Подобные опыты производились въ это и въ послѣдующее время почти постоянно съ шарами продолговатой формы, напр. германскимъ инженеромъ Гэнлейнъ, который воспользовался газомоторомъ, какъ двигательной машиной, причемъ газъ брался изъ самого шара, затѣмъ Ливчакомъ, Липпертомъ, Баумгартеномъ, Вольфертомъ.



201. Воздушный корабль Дюпюи де Лома.

Начиная съ 80-хъ годовъ, начались опыты примѣненiя электричества къ

воздушнымъ шарамъ, какъ двигательной силы. Выше уже упомянутый аэронавтъ, Гастонъ Тиссандье, построилъ на основанiи опытовъ въ маломъ масштабѣ шаръ въ 28 м. длины и 9 м. въ поперечникѣ при 1060 куб. м. емкости; для наполненiя примѣнялся водородъ. Двигательную силу давала гальваническая батарея; при помощи Сименсова электромотора поворачивалась горизонтальная ось пропеллера; поперечникъ пропеллера былъ приблизительно 3 м. Сила машины составляла немного болѣе лошадиной силы. Первый подъемъ съ этимъ воздушнымъ кораблемъ послѣдовалъ осенью 1883 г. На высотѣ 500 м. машина была приведена въ дѣйствiе; скорость вѣтра составляла 10 км. въ часъ (т.-е. 3 м. въ секунду). Воздушный корабль едва могъ держаться противъ вѣтра, но не шелъ впередъ; при ходѣ по вѣтру скорость очень увеличивалась. Собственно движенiе электрическаго мотора Тиссандье противъ вѣтра составляло такимъ образомъ около 3 м. въ секунду или 10 км. въ часъ.



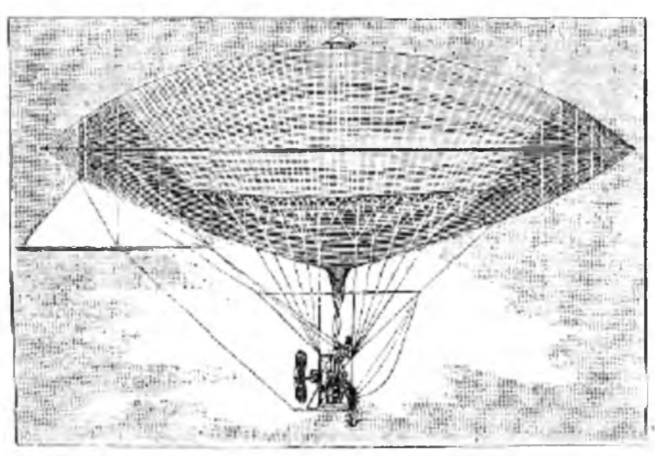
202. Гондола электрическаго воздушнаго корабля Тиссандье.

Вскорѣ по слѣдамъ Тиссандье выступили двое французскихъ офицеровъ, Ренаръ и Кребсъ въ Chalais-Meudon, около Парижа, съ новымъ управляемымъ воздушнымъ шаромъ, который нашелъ наибольшее подражанiе въ многихъ конструкцiяхъ новѣйшаго времени, представляя такимъ образомъ, въ противоположность конструкцiи Тиссандье, въ дѣйствительности большой шагъ впередъ. Оба они уже въ теченiе многихъ лѣтъ занимались изслѣдованiями и опытами относительно управляемости воздушныхъ кораблей, причемъ имъ въ вспомоществованiе была выдана правительствомъ ссуда въ 100 000 фр. Работы производились при строгомъ храненiи тайны, такъ какъ ожидаемый результатъ предполагалось прежде всего примѣнить къ французскому военному воздухоплаванiю. Благодаря денежной помощи они были въ состоянiи получить гораздо большiй шаръ, чѣмъ тотъ, которымъ Тиссандье далъ примѣръ, и устроить моторъ.

Ихъ шаръ „La France“ (см. рис. 204) былъ 50 м. длины, $8^1/_2$ м.

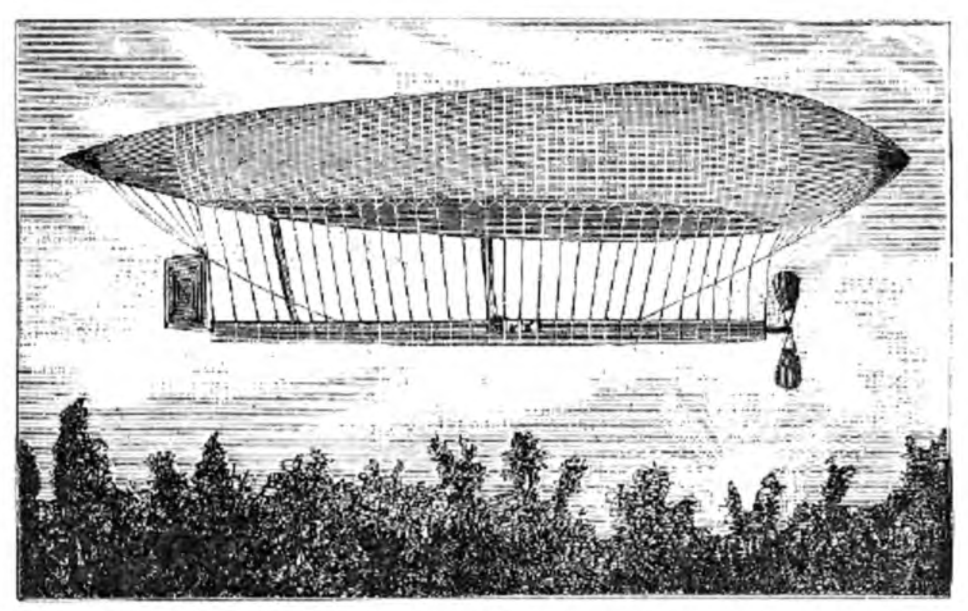
въ наибольшемъ поперечникѣ при 1870 куб. метр. емкости; накачиваніе производилось водородомъ, котораго употреблялось 2200 кгр.

Сила для вращенія винта получалась отъ гальванической батареи, какъ и у Тиссандье; относительно ея же маіоръ Ренаръ послѣ долгаго сохраненія тайны опубликовалъ сообщеніе. Въ общемъ были употреблены 40 элементовъ, состоявшихъ изъ стеклянныхъ или эбонитовыхъ сосудовъ, наполненныхъ хромовой или соляной кислотой. Въ нихъ погружались электроды; положительный электродъ составляла трубка, согнутая изъ платинированнаго тонкаго серебрянаго листа, а отрицательный состоялъ изъ цинковаго стерженька. Развивавшійся черезъ это токъ былъ исключительной силы въ сравненіи съ вѣсомъ; онъ развивалъ въ электромоторѣ работу въ 9 лошадиныхъ силъ. Также и отношеніе между подъемной силой и поперечнымъ сѣченіемъ шара было найдено болѣе благопріятнымъ, чѣмъ у Тиссандье. Въ августѣ 1884 г. послѣдовалъ первый подъемъ при тихой погодѣ. Воздушный корабль описалъ эллиптическій путь въ 8 км. длины и возвратился черезъ 23 минуты къ пункту отправленія. Благодаря поступательному и обратному управленію шаръ былъ принесенъ какъ разъ на то мѣсто, съ котораго онъ поднялся; это удалось съ воздушнымъ кораблемъ въ первый разъ. Позднѣе производилось нѣсколько пробныхъ полетовъ съ „La France“, также при скорости вѣтра въ 5 м. въ секунду; и при этомъ шаръ возвращался къ мѣсту отправленія. Несмотря на этотъ успѣхъ, маіоръ Кребсъ объявилъ, что онъ и его сотоварищъ были еще очень далеко отъ цѣли; окончательное рѣшеніе проблемы дѣйствительно пригоднаго къ практическому употребленію воздушнаго корабля недостижимо на этомъ пути. Если даже батарея, шаръ и вообще все снаряженіе будутъ облегчены до послѣдней возможности, все-таки требовался бы запасъ элементовъ въ 1000 кгр. для часового полета, чтобы развить едва 20 лошадиныхъ силъ, которыя необходимо сообщить такому шару, какъ „La France“, для достиженія минимальной скорости въ 10 метр. въ секунду или 36 килом. въ часъ; спустя часъ баттарея стала бы неспособна къ работѣ для того, чтобы можно пролетѣть еще только часъ, т.-е. практическое примѣненіе ея не имѣетъ никакой цѣны.



203. Электрическій воздушный корабль Тиссандье.

Управляемый шаръ безъ мотора былъ устроенъ Р. К. Кемблемъ въ Бруклинѣ (Сѣверн. Америка), который долженствовалъ быть свободнымъ отъ различныхъ недостатковъ прежнихъ конструкцій и дать лучшіе результаты, чѣмъ шары Тиссандье и Ренаръ-Кребса. Онъ изображенъ на рис. 205. Легко видѣть, что сама форма шара менѣе удовлетворительна, чѣмъ у прежнихъ, причемъ онъ спереди не заостренъ. Воздушный корабль не могъ подниматься только посредствомъ своей подъемной силы, но для этого требовалась еще небольшая другая сила. Послѣдняя должна была получаться посредствомъ вращенія подъ гондолой колеса съ наклонными крыльями. Для горизонтальнаго же поступательнаго движенія служилъ винтъ съ двумя ло-



204. Воздушный корабль Ренара и Кребса.

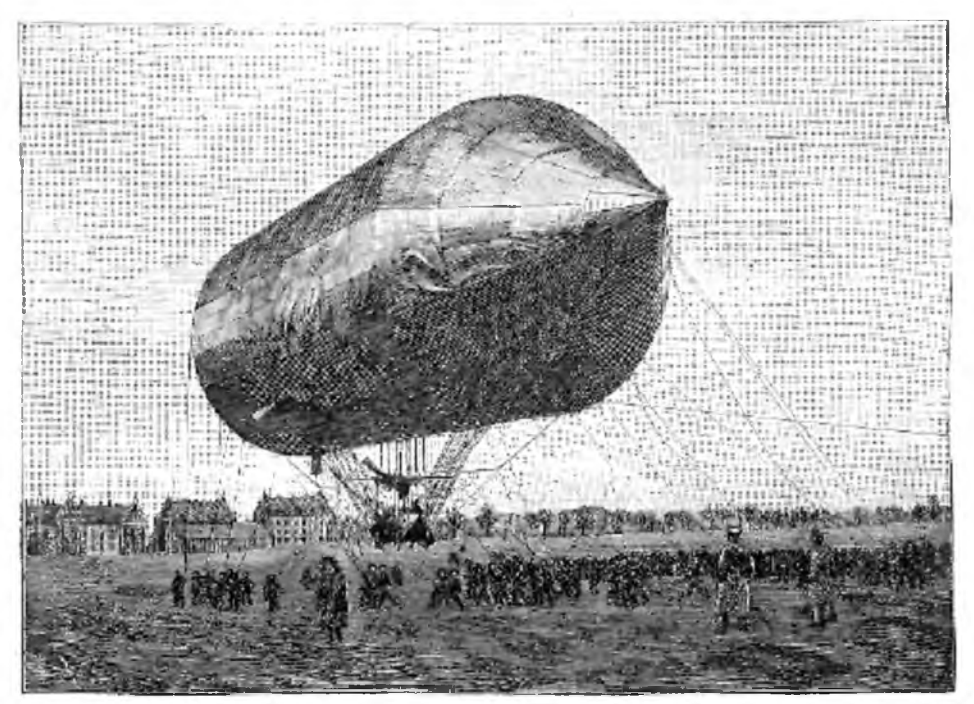
205. Воздушный корабль Кембля.

цастями, находящійся впереди шара (налѣво); ось винта, какъ и колеса, оканчивалась въ гондолѣ рукояткой. Подъ шаромъ былъ натянутъ наверху гондолы еще длинный парусъ, который долженъ былъ, какъ киль, препятствовать *колебаніямъ*; *на заднемъ концѣ (справа) помѣщалась вертикальная* штанга, вращаемое и устанавливаемое шнуромъ съ гондолы рулевое весло. Оба меньшихъ винта на обоихъ концахъ должны были служить къ вращенію шара на мѣстѣ. Все это было очень красиво придумано, но все-таки слишкомъ сложно; къ тому же весь аппаратъ долженъ былъ приводиться въ дѣйствіе однимъ человѣкомъ; послѣдній долженъ былъ поворачивать рукоятки винтовъ и управлять рулемъ. Первый полетъ якобы удался, по американскимъ сообщеніямъ; будто бы воздушный корабль леталъ вокругъ около 2-хъ часовъ въ воздухѣ въ любомъ направленіи, хотя и при средней скорости въ 8 км. въ секунду. Во время одного полета воздухоплавателя С. Д. Хогана механизмъ совершенно отказался дѣйствовать: онъ былъ унесенъ на большую высоту вѣтромъ къ морю, и можно было снизу видѣть, что старанія Хогана повернуть шаръ или спуститься, при помощи нижняго колеса, не удались. Хоганъ былъ увлеченъ вѣтромъ въ море; отъ него и шара ничего не было найдено.

Еще двѣ дальнѣйшія человѣческія жизни въ самое послѣднее время завершились при опытѣ съ управляемымъ шаромъ. 12 іюня 1897 г. произошелъ съ Tempelhofer Feld около Берлина полетъ шара „Deutschland", на который спеціалисты возлагали большія надежды; онъ кончился однако очень скоро ужасной катастрофой. Германскій ученый Вельфертъ построилъ послѣ *годового опыта шаръ, снабженный рулемъ, приводимымъ въ движеніе мото*ромъ, благодаря которому онъ полагалъ достичь цѣли послѣ многолѣтняго труда. Шаръ имѣлъ видъ колоссальной сигары, 30 м. длины при 10 м. высоты. Подъ нимъ подвѣшивалась построенная изъ бамбука гондола, въ видѣ галлереи, на которой помѣщался бензиновый моторъ; послѣдній стоялъ близко подъ нижней стороной шара и приводилъ въ движеніе помѣщавшійся на борту гондолы большой алюминіевый винтъ, который и долженствовалъ сообщать шару при помощи быстраго вращенія опредѣленнаго характера соотвѣтственное движеніе, даже и противъ вѣтра. Для управленія служилъ прикрѣпленный въ заднемъ концѣ гондолы парусъ въ 2 кв. м. величины, состоявшій изъ бамбуковой рамы, обтянутой полотномъ. Вскорѣ послѣ подъема шаръ былъ разорванъ страшнымъ взрывомъ и упалъ на землю, обратившись въ огромный, ужасный столбъ пламени. Оба пассажира, изобрѣтатель Вельфертъ и его помощникъ, механикъ Кнобе, сгорѣли. Что касается причины катастрофы, то полагаютъ, что д-ръ Вельфертъ, намѣреваясь достигнуть тотчасъ же при первомъ подъемѣ возможно удачныхъ, рѣшительныхъ результатовъ, при попыткѣ возвратиться на мѣсто отправленія слишкомъ нагрѣлъ моторъ, причемъ вслѣдствіе большой жары или образованія пламени находившаяся близко къ мотору оболочка шара воспламенилась; или же, что д-ръ Вельфертъ, *намѣреваясь спуститься, открылъ выкачивающій клапанъ, не* погасивъ заранѣе моторъ, и что выходившій газъ воспламенился у послѣдняго. Д-ръ Вельфертъ положилъ всѣ свои старанія въ приведеніе своей идеи для разрѣшенія задачи управляемаго воздушнаго корабля. Когда наконецъ онъ послѣ многихъ неудачъ, казалось, достигъ цѣли, онъ вмѣстѣ съ своимъ помощникомъ сталъ вслѣдствіе неблагопріятной случайности жертвой науки.

Въ заключеніе остается упомянуть о состоявшемся 3 ноября 1897 г., изъ воздухоплавательнаго парка прусскаго отдѣла военныхъ воздушныхъ кораблей въ Берлинѣ, пробномъ подъемѣ алюминіеваго воздушнаго корабля Шварца. Изобрѣтатель, австріецъ Давидъ Шварцъ, проработалъ многіе годы въ выработкѣ и усовершенствованіи своего произведенія и обратился съ своимъ изобрѣтеніемъ къ прусскому отдѣлу воздушныхъ кораблей, такъ какъ австрійское военное министерство не обладаетъ такими совершенными уста-

новленіями, какъ первое. Тамъ онъ нашелъ вниманіе и поддержку и получилъ разрѣшеніе самому спустить свое тяжелое и дорогое сооруженіе въ воздухоплавательномъ паркѣ. Къ сожалѣнію Шварцу не было суждено видѣть успѣхъ своихъ стараній. Онъ умеръ ранѣе окончанія дѣла: послѣднее было продолжено и завершено его вдовой. Шварцъ, уклоняясь отъ прежнихъ попытокъ конструкціи управляемаго шара, поставилъ для разрѣшенія этой задачи, какъ необходимое предварительное условіе, крѣпкую связь гондолы съ двигательнымъ аппаратомъ и самимъ шаромъ и выполнилъ это условіе въ своей конструкціи. Послѣдняя состояла для этой цѣли исключительно изъ алюминія. Самъ шаръ, имѣвшій форму горизонтальнаго, заостреннаго на обоихъ концахъ конусообразно цилиндра, былъ покрытъ алю-



206. Управляемый алюминіевый воздушный корабль Шварца.

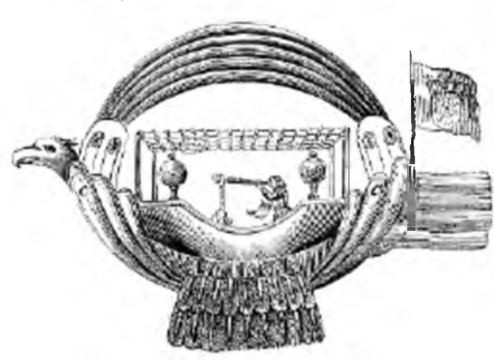
миніевой оболочкой; съ нимъ была накрѣпко соединена гондола. Шаръ это само по себѣ представляетъ замѣчательное, считавшееся до тѣхъ поръ невозможнымъ, техническое приспособленіе — наполнялъ, по придуманной Шварцомъ методѣ, водородомъ и имѣлъ при этомъ достаточно подъемоспособности, чтобы кромѣ своего собственнаго вѣса въ 4000 килогр. нести еще гондолу съ снаряженіемъ, балластомъ и воздухоплавателями. Послѣднимъ былъ при первомъ полетѣ молодой техникъ, который взялъ на себя смѣлость замѣстить умершаго изобрѣтателя. Къ сожалѣнію вскорѣ послѣ подъема случилась неудача: передаточный ремень мотора сползъ съ вала, такъ что винты, служившіе къ движенію и управленію, остановились; вслѣдствіе этого воздухоплаватель открылъ, чтобы спуститься, выкачивающій клапанъ. При спускѣ шаръ потерпѣлъ много поврежденій, которыя дѣлали невозможнымъ напередъ второй подъемъ. Первая попытка между тѣмъ, несмотря на свою рѣшительную неудачу, вовсе не опровергла поставленныхъ изобрѣтеніемъ ожиданій; по мнѣнію спеціалистовъ, воздушный корабль Шварца является скорѣе способнымъ выполнить обѣщанныя изобрѣтателемъ приспособленія;

вѣдь все-таки воздушный корабль былъ двигаемъ своимъ двигательнымъ механизмомъ противъ вѣтра 7-метровой скорости. Изобрѣтатель предполагалъ по своимъ вычисленіямъ, что скорость вѣтра возрастетъ до 10 метровъ. Во всякомъ случаѣ получились результаты такого рода, что вовсе не отбиваютъ отъ дальнѣйшихъ попытокъ, а напротивъ побуждаютъ къ нимъ.

Техника летанія.

Уже коротко было упомянуто, что за послѣднее время техники, занятые устройствомъ летательныхъ снарядовъ, надѣются достигнуть своей цѣли свободнаго полета, безъ всякаго пособія аэронавтики, только механическимъ путемъ.

Первыя извѣстія относительно мнимыхъ опытовъ надъ летаньемъ, къ которымъ, конечно, нельзя относиться съ довѣріемъ, мы находимъ въ средніе вѣка. Рожеръ Беконъ утверждалъ, что онъ владѣетъ искусствомъ летать, но онъ это утвержденіе не подтвердилъ сообщеніемъ о какихъ-либо дѣйствительныхъ полетахъ по воздуху. Въ концѣ 16 столѣтія различные ученые писали о теоретической возможности летанія; такъ, Борелли въ 1680 г. пытался доказать на основаніи законовъ механики, что человѣкъ никогда не въ состояніи достигнуть того, чтобы держаться на воздухѣ помощью крыльевъ своей мускульной силой, какой взглядъ также еще и въ настоящее время является довольно распространеннымъ. Въ началѣ 18 столѣтія Лоранъ (Laurent) построилъ воздушный корабль, который долженъ былъ летать посредствомъ человѣческой силы. Этотъ снарядъ походилъ по виду на птицу и имѣлъ по обѣимъ сторонамъ сдѣланныя изъ настоящихъ *птичьихъ перьевъ крылья, которыя* должны были приводиться въ движеніе человѣкомъ; рис. 207 изображаетъ это любопытное сооруженіе. Въ 1786 г. Бенье, молодой слесарь изъ Сабля во Франціи, возбудилъ большое вниманіе своимъ летательнымъ снарядомъ. Какъ показываетъ рис. 208, этотъ снарядъ состоялъ изъ двухъ палокъ, которыя на обоихъ концахъ имѣли широкія крылья; шесты укрѣплялись на плечахъ, гдѣ они могли двигаться въ цапфахъ. Крылья руками и съ помощью шнурковъ или цѣпочекъ ногами могли быть приводимы въ движеніе внизъ и вверхъ, причемъ, когда одновременно лѣвое переднее крыло и правое заднее крыло поднимались, другія два крыла опускались и наоборотъ. Бенье согласно извѣстіямъ могъ съ помощью этого простого снаряда, прыгая съ высоты, медленно спускаться внизъ въ наклонномъ направленіи, причемъ онъ даже переправлялся черезъ рѣки; онъ не могъ, однако, ни держаться въ воздухѣ, ни подыматься. Также уже вышеупомянутый *воздухоплаватель Бланшаръ построилъ нѣсколько летательныхъ* машинъ, причемъ, однако, ему не удалось достигнуть того, чтобы дѣйствительно съ помощью ихъ подниматься на воздухъ.



207. Воздушный корабль Лорана по рисунку 1709 года.

Въ 1874 г. выступилъ голландскій механикъ де-Гроофъ съ изобрѣтеннымъ имъ летательнымъ аппаратомъ. Изъ мелкихъ опытовъ онъ получилъ указаніе, что онъ, по крайней мѣрѣ, съ большихъ высотъ могъ бы при его помощи безопасно летѣть или нестись медленно внизъ. Онъ отважился на полетъ съ воздушнаго шара, но ударился со своимъ аппаратомъ, по отдѣленіи отъ шара, такъ сильно о землю, что разбился. Только нѣсколько

лѣтъ спустя снова принялись за опыты свободнаго динамическаго полета и правда болѣе цѣлесообразнымъ путемъ, по крайней мѣрѣ, на основаніи. отчасти научно выработанномъ, и при пользованіи всѣми вспомогательными средствами современной техники. Наука занялась предварительно полетомъ птицъ; при этомъ въ особенности близко было наблюдено и изслѣдовано пареніе птицъ, причемъ былъ достигнутъ интересный и въ высшей степени важный результатъ, что многія птицы вовсе не благодаря механической работѣ при помощи взмаховъ крыльевъ поднимаются въ высоту, но особенная форма и помѣщеніе ихъ крыльевъ даютъ возможность имъ подниматься съ вѣтромъ въ высь. Вслѣдствіе этого образовалась теорія птичьяго полета, по которой фактическія явленія, стоявшія въ рѣзкомъ противорѣчіи съ прежними вычисленіями, были объяснены въ согласующемъ смыслѣ. Чтобы поднять свою тяжесть въ высь благодаря развитію механической работы и держаться, рѣя въ воздухѣ, аистъ, напр., долженъ былъ бы взмахивать крыльями непрерывно съ большою быстротою и при этомъ развивать работу, почти равную одной лошадиной силѣ. На дѣлѣ же мы часто видимъ, какъ аисты почти безъ взмаховъ крыльевъ и видимо безъ напряженія парятъ, кружатся, даже поднимаются выше въ воздухѣ. Объясненіе такое: вѣтеръ, какъ это бываетъ и съ бумажнымъ змѣемъ, надуваетъ кривую выгнутую поверхность крыльевъ, производя, такимъ образомъ, на нихъ направленное кверху давленіе, благодаря которому тяжесть птицы можетъ держаться на мѣстѣ или сдвигаться съ мѣста. Благодаря разнообразному помѣщенію крыльевъ такъ же, какъ и измѣненію угла напора вѣтра, какъ и крыльевымъ взмахамъ, дѣйствіе вѣтра регулируется и восполняется. Хотя многіе техники утверждаютъ, что вообще невозможно подняться въ воздухъ съ динамическимъ летательнымъ аппаратомъ; что какъ при воздушномъ шарѣ, такъ и при летательной машинѣ невозможно построить достаточно легкій моторъ для требуемаго развитія силы; что же касается мускульной силы человѣка, то она совершенно неудовлетворительна для свободнаго летанія. Но этому противорѣчитъ наблюденіе въ природѣ надъ летаніемъ птицъ; именно большія тяжелыя птицы летаютъ лучше всего, хотя отношеніе ихъ вѣса къ поверхности крыльевъ менѣе благопріятно, чѣмъ у маленькихъ птицъ.



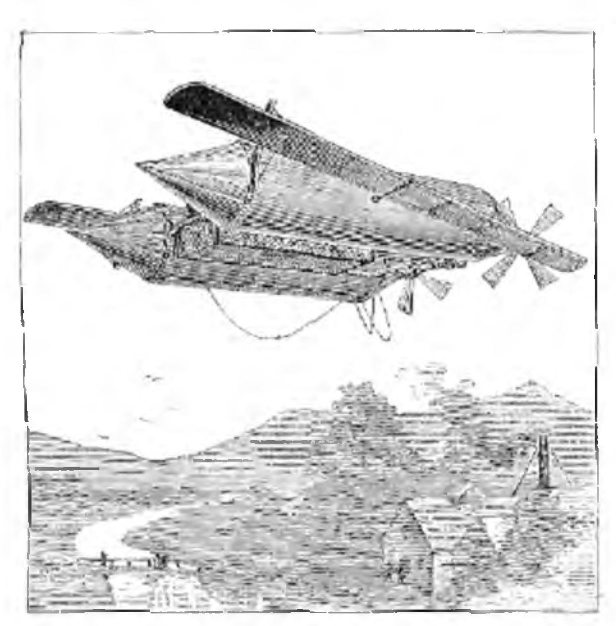
208. Бенье во время полета.

Маленькія птицы могутъ при среднемъ вѣтрѣ летать лишь съ напряженіемъ, несмотря на быстрыя и оживленныя движенія; ястребъ же, напротивъ, летаетъ обыкновенно именно при вѣтрѣ безъ напряженія и почти безъ взмаховъ. Такимъ образомъ, маленькая птица примѣняетъ сравнительно съ большой больше силы. Это сводится къ утилизаціи вѣтра при летаніи, особенно при пареніи, каковая служитъ не малымъ противовѣсомъ для удержанія равновѣсія, необходимаго для управленія полетомъ. Большія птицы, повидимому, понимаютъ это и, такимъ образомъ, даютъ вѣтру нести и поднимать ихъ безъ расходованія большой силы; человѣкъ же, снабженный только своеобразно устроенными и соотвѣтствующими его вѣсу большими крыльями, долженъ подражать этому.

Но трудность заключается въ практической попыткѣ. Можно учиться только свободно въ воздухѣ летать; но, чтобы мочь свободно носиться въ

воздухѣ, не падая тотчасъ же на землю, нужно также быть въ состояніи летать. Неизвѣстно, какъ сдѣлать начало. Можно выучиться плавать, держась вблизи каната и производя движенія на одномъ мѣстѣ въ водѣ; для летанія же само движеніе является предварительнымъ условіемъ.

Теперь извѣстно, что именно наибольшія птицы, т.-е. наилучшіе летатели, не могутъ прямо подняться съ земли въ воздухъ; можно хорошихъ, большихъ летуновъ держать въ открытомъ сверху пространствѣ, которое узко обнесено вокругъ невысокой стѣной, потому что они не могутъ перелетѣть впередъ черезъ нее, не имѣя мѣста для разбѣга. Они должны сначала, при помощи бѣга по землѣ, пріобрѣсть извѣстную горизонтальную скорость для того, чтобы направить движеніе воздуха противъ ихъ внутренней вогнутой крыльевой поверхности, которое и поднимаетъ ихъ вверхъ. Такимъ образомъ, возможно произвести полетъ почти по горизонтальному направленію при помощи летательнаго аппарата; и большая часть новѣйшихъ летательныхъ аппаратовъ построена по этому принципу. Но, конечно, летательные аппараты не могутъ быть разсчитаны исключительно на движущую силу вѣтра; подобно тому, какъ птицы *также и своею собственною* силой, при помощи взмаховъ крыльевъ, могутъ регулировать и дополнять это дѣйствіе, а также управлять полетомъ, — и летательные аппараты могутъ развивать движеніе собственной силой. Что касается способа, которымъ это всего лучше достижимо, взгляды расходятся. Ниже будутъ разсмотрѣны нѣкоторыя новыя летательныя машины.


209. Воздушный корабль Бехтеля.

Среднее между управляемымъ шаромъ и чисто динамическою летательною *машиною представляетъ изображенный на рис. 209 воздушный корабль Бехтеля,* въ Удаллѣ, Канзасъ (Сѣв. Америка). Онъ имѣетъ два большихъ, по возможности изъ легчайшаго матеріала устроенныхъ, длинныхъ, конусообразно сзади и спереди заостренныхъ цилиндра, наполняемыхъ легкимъ газомъ; они соединены проложенной между ними платформою изъ проволочной сѣтки, на которой находится электрическій или какой-либо иной моторъ. Послѣдній приводитъ въ движеніе при помощи выдающагося сзади вала два находящихся на заднемъ концѣ двигательныхъ крыла. На внѣшней сторонѣ цилиндровъ укрѣплены два вращаемыхъ вокругъ горизонтальной оси длинныхъ крыла, которыя могутъ быть установлены въ различномъ наклоненіи къ горизонтали. Оба цилиндра должны имѣть столько подъемной силы, чтобы тяжесть всего аппарата не была совершенно устранена, т.-е., чтобы онъ не поднимался самъ по себѣ. Моторъ машину долженъ двигать впередъ при помощи заднихъ крыльевъ; при этомъ оба боковыхъ крыла давятъ, смотря по ихъ наклоненію, болѣе или менѣе противъ воздуха, и, какъ и при пареніи птицъ, получается кверху направленная сила, поднимающая воздушный корабль въ

выеь. Черезъ установку боковыхъ крыльевъ, такимъ образомъ, должны быть регулированы подъемъ или опусканiе; управленiе же достигается выдвиганiемъ то одного, то другого двигательнаго крыла. Неизвѣстно, чтобы удавались воздушные полеты при помощи этого летательнаго аппарата; кромѣ трудности устроить вмѣстилище, достаточно легкое и въ то же время достаточно прочное, чтобы наполненiе его водородомъ давало бы его подъемную силу, равную тяжести всего аппарата, является еще, какъ и при управляемомъ шарѣ, главнымъ дѣломъ снабженiе его легкимъ и достаточно сильнымъ моторомъ, чтобы приводить въ быстрое вращенiе два большихъ винта.

Совершенно по принципу птичьихъ крыльевъ образована летательная машина Труве, которая похожа на летящаго сказочнаго дракона, какъ это видно на рис. 210. Изобрѣтатель имѣлъ, главнымъ образомъ, въ виду достичь при какъ можно незначительномъ вѣсѣ большого дѣйствiя силы, и построилъ для этой цѣли новый, очень своеобразный моторъ.

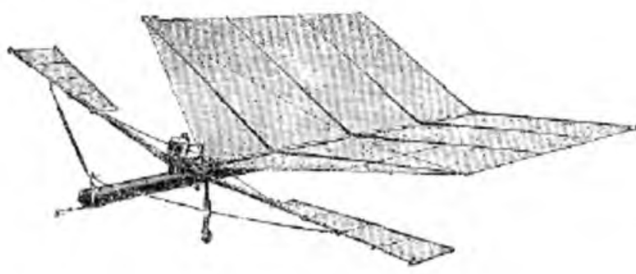
Весь аппаратъ не имѣетъ никакого цилиндра, никакого вала, ни штангъ, ни гнѣздъ для шиповъ или передачъ; сила дѣйствуетъ прямо на движенiе двухъ большихъ, драконообразно изогнутыхъ крыльевъ a и b. Послѣднiя прикрѣплены къ обѣимъ ножкамъ полой, подковообразной трубки, имѣющей эллиптическiй разрѣзъ. Уже въ одной изъ предыдущихъ главъ, говоря о металлическихъ манометрахъ, мы видѣли, что такая трубка измѣняетъ свою форму, сдвигаетъ или раздвигаетъ ножки, смотря по тому, сжимается или расширяется въ ней воздухъ. Трубку, такимъ образомъ, можно сравнить съ большимъ манометромъ Бурдона. Черезъ быстро чередующееся сильное измѣненiе давленiя, ножки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и крылья, приводятся равнымъ образомъ въ быстрое движенiе вверхъ и внизъ. Измѣненiя давленiя обусловливаются тѣмъ, что въ извѣстныхъ промежуточныхъ пространствахъ производятся взрывы маленькихъ количествъ гремучаго газа, причемъ газы тотчасъ же выпускаются; при этомъ должно запастись водородомъ, сжатымъ въ вмѣстилищѣ. Крылья, какъ и у птицъ, образованы такъ, что давленiе на воздухъ происходитъ только при взмахахъ внизъ, и черезъ это поднимается аппаратъ; посредствомъ рычага C производится управленiе машиною. Въ модели, представленной французской академiи наукъ и которая дѣйствительно летала по воздуху, предназначенные для болѣе крупныхъ сооруженiй взрывы гремучаго газа замѣнены маленькой револьверной камерой D, въ которой взрываются одинъ за другимъ 12 патроновъ, газъ которыхъ направляется въ изогнутую трубу. Модель летаетъ при вѣсѣ въ $3^1/2$ клгр., при помощи взрыва 12 патроновъ, на разстоянiи около 75 м. въ горизонтальномъ направленiи и медленно надаетъ внизъ, послѣ послѣдняго взрыва съ послѣднимъ взмахомъ крыла.



210. Летательная машина Труве.

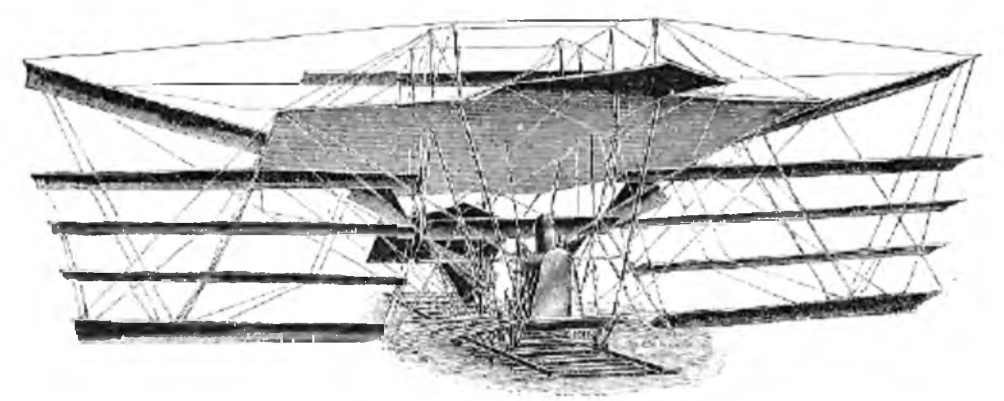
Уже много лѣтъ тому назадъ Лаурэнсъ Харгровъ въ Сиднеѣ (Австралiя) построилъ летательную машину, которая отличается легкостью, соединенной съ тонкостью изобрѣтенiя и сочетанiя частей.

Различныя ея видоизмѣненія постоянно показываютъ шаги впередъ; одну изъ новѣйшихъ ея моделей представляетъ рис. 211. Собственно летательный аппаратъ состоитъ изъ пары крыльевъ и большой задней парусной поверхности. Крылья прикрѣплены только передними своими краями къ двигательному механизму, который приводитъ къ развертывающемуся и свертывающемуся движенію. При этомъ крыльевыя поверхности помѣщаются, не совсѣмъ натянутыя, а только нѣсколько изогнутыя, въ томъ мѣстѣ, гдѣ воздухъ сгущается не только книзу, но сжимаетъ и назадъ, такъ что получается сила, развивающая поступательное движеніе. Черезъ поступательное движеніе наклоненная къ заднему концу крыльевая поверхность получаетъ переносную силу. Движеніе получается при помощи мотора, дѣйствующаго давленіемъ воздуха; сжатый воздухъ содержится въ стальномъ цилиндрѣ, проложенномъ между крыльями и подъ парусной поверхностью. Машина при опытѣ, повидимому, пролетѣла 150 метр.; но изобрѣтателю не удалось до сихъ поръ сдѣлать со въ большомъ экземплярѣ практически примѣнимой.



211. Летательная машина Харгрева.

Сдѣлавшійся повсюду извѣстнымъ черезъ свои быстро стрѣляющія пушки англійскій изобрѣтатель Хиромъ С. Максимъ занимался съ 1890 г. изобрѣ-



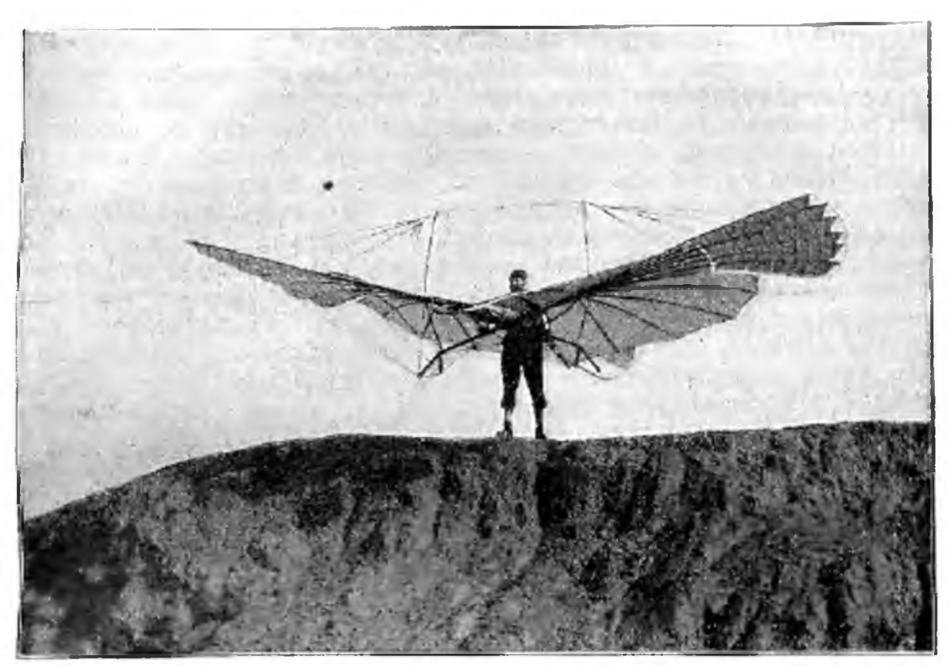
212. Летательная машина Максима.

теніемъ летательнаго аппарата и именно построилъ нѣчто въ родѣ паролетательной машины въ большомъ масштабѣ. Въ іюлѣ 1894 г. онъ въ первый разъ показалъ ее, и въ первый разъ дѣйствительно большая машина, съ паровымъ котломъ, паровой машиной и 3 лицами, благодаря только механической силѣ, безъ шара поднялась съ земли. Все-таки машинѣ не повезло почти послѣ перваго же ея подъема, что должно быть приписано случайнымъ обстоятельствамъ, а вовсе не недостаткамъ машины. Машина имѣетъ станокъ изъ стальныхъ трубокъ и стальной проволоки; въ нижней части на немъ установлена платформа, на которой находится трубочно-паровой котелъ и вмѣщеніе для воды и газолина, а также помѣщаются и люди. На 3 м. выше подвѣшены 2 паровыя машины, которыя вращаютъ двигательный винтъ свыше 5 метровъ въ поперечникѣ, съ горизонтальнымъ валомъ. Выше находилась главная парусная поверхность; по обѣимъ сторонамъ простираются

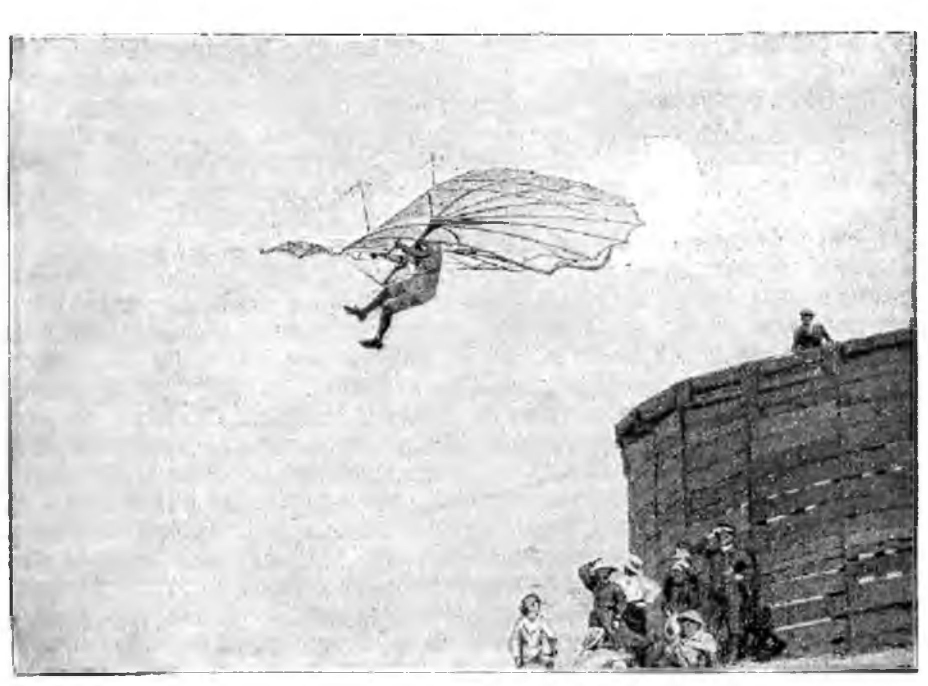
5 паръ мелкихъ крыльевъ, изъ коихъ среднія 3 пары не всегда употребляются. Внѣшняя ширина имѣетъ 38 метр. въ ширину, длина 31 м.; общій вѣсъ, съ снаряженіемъ и людьми 3600 клгр. Если всѣ крылья поставлены, вся парусная поверхность составляетъ 490 квадр. метр. Сзади и спереди на главной парусовой поверхности находятся рулевыя паруса, которыя могутъ быть подняты и спущены съ платформы при помощи проволоки и рулевого колеса; черезъ ихъ перемѣщеніе машина или поднимается, или опускается, или удерживается на одной высотѣ. Паровой котелъ нагрѣвается весьма искуснымъ образомъ газолиномъ или нефтью. Обѣ машины развиваютъ на винтахъ 363 лошадиныя силы, работу, необычайную въ сравненіи съ общимъ вѣсомъ. При этомъ винты дѣлаютъ 375 оборотовъ въ минуту Изъ всей силы теряется 150 лошадиныхъ силъ на безполезныя сопротивленія, 133 идутъ на поддержаніе или подъемъ посредствомъ парусовъ и 80 расходуются на поступательное движеніе всей летательной машины въ воздухѣ. При горизонтальной скорости въ 58 км. въ часъ или 16 м. въ секунду, подъемная сила какъ разъ равняется вѣсу всей машины, а при скорости въ 64 км. подъемной силѣ соотвѣтствуетъ уже 4500 кгр. Чтобы быть приведенной въ движеніе, машина ставится на рельсы, на которыхъ она движется на колесахъ черезъ вращеніе обоихъ пропеллеровъ, пока требуемая скорость не будетъ достигнута и сила достаточна для работы. Какъ сообщаетъ изобрѣтатель Максимъ, онъ послѣ разрушенія первой машины, несмотря на дороговизну дѣла, не оставилъ его; напротивъ, черезъ эту попытку онъ получилъ указаніе, что машина могла бы свободно летать, и дѣйствительно на извѣстномъ пространствѣ она неслась свободно. Онъ намѣренъ построить новый аппаратъ, въ которомъ предполагаетъ сдѣлать много улучшеній, особенно въ паровой машинѣ.

Профессоръ Велльнеръ (1894 г.) въ технической школѣ въ Бруннѣ, на основаніи долголѣтняго изученія и наблюденій надъ птичьимъ полетомъ, черезъ попытку установить правильную форму крыльевъ, нашелъ и построилъ по даннымъ этихъ трудовъ парусно-колесную летательную машину, которая обратила на себя большое вниманіе даже въ научныхъ кругахъ Германіи и Австріи. Въ длинной гондолѣ находится помѣщеніе для мотора, топлива и воздухоплавателя. Летательный механизмъ состоитъ изъ двухъ колесъ съ извѣстнымъ числомъ помѣщенныхъ наискось вогнутыхъ крыльевъ. Послѣднія производятъ, черезъ свое вращеніе и производимое при этомъ давленіе на воздухъ, благодаря своей особенной формѣ и наклоненію, одновременно и подъемъ и горизонтальное поступательное движеніе летательнаго аппарата; наклоненіе поверхностей устанавливается при помощи рулевого механизма. Недавно изобрѣтатель построилъ машину для 4—8 лицъ, съ тремя парусными колесами въ 6,4 метра въ поперечникѣ съ каждой стороны судна. Вся летательная машина длиной въ 20 м.; моторъ развиваетъ 80 лошадиныхъ силъ и вращаетъ парусныя колеса 135 оборотами въ минуту. При этомъ должна быть достигнута подъемная сила въ 6400 килогр. Машина, если колеса достигли правильной вращательной скорости, должна подняться съ мѣста, т.-е. двинуться по землѣ впередъ въ горизонтальномъ направленіи. Воздушное судно не должно подниматься высоко въ воздухѣ, но летѣть только на 20—40 метр. надъ землею; изобрѣтатель думаетъ достичь удвоенной или утроенной скорости желѣзнодорожнаго поѣзда. Сначала была построена маленькая парусно-колесная летательная машина, съ которой изобрѣтатель производилъ опыты въ Вѣнѣ, которыя его удовлетворили, такъ какъ подтвердили его предположеніе. На будущее время проф. Велльнеръ надѣется, что недалеко разрѣшеніе вопроса свободнаго динамическаго полета, если слѣдовать его системѣ.

Между тѣмъ, въ послѣднее время, лѣтомъ 1896 г., изъ Америки пришло

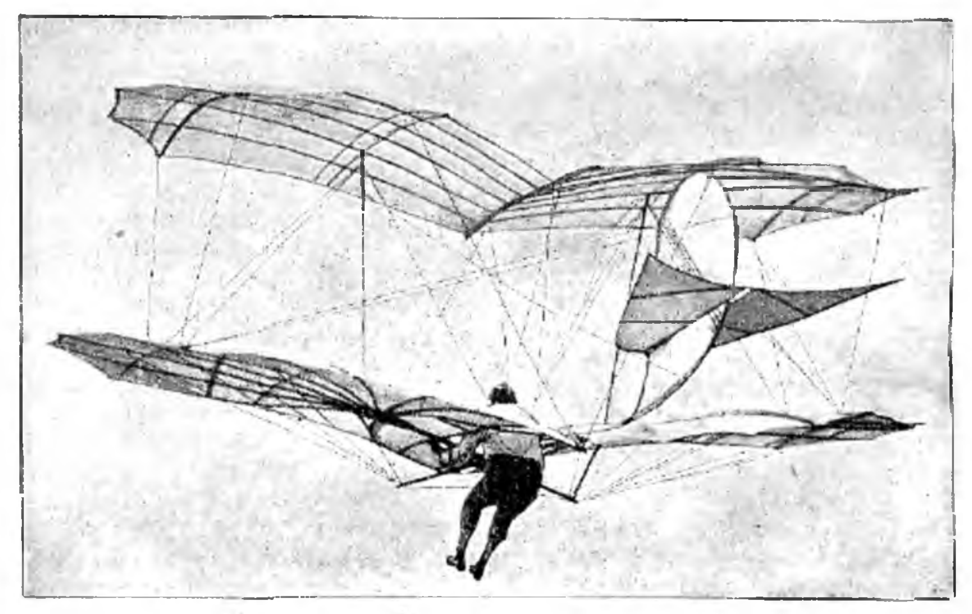


213. Парусная летательная машина Лиліенталя.



214. Лиліенталь, летящій на своемъ аппаратѣ.

извѣстіе, что проф. Лангдей въ Вашингтонѣ разрѣшилъ практически задачу летательной машины. По сообщеніямъ людей науки, какъ напр. проф. Грагамъ Белля, изобрѣтателя телефона, который находился при опытѣ, пробные полеты, которые были устроены надъ бухтой Потомака, около Вашингтона, отлично прошли и привели въ восторгъ присутствующихъ. Грагамъ Белль отмѣчаетъ въ сообщеніи 6 мая 1896, когда произошли опыты, какъ историческій день техники летанія, такъ какъ въ этотъ день выяснилось, что машина можетъ свободно подниматься противъ вѣтра и развивать устойчивый полетъ при помощи паровой силы. Новая летательная машина, названная аэродромъ, похожа снаружи на гигантскую птицу; размѣръ крыльевъ, пока еще въ качествѣ модели устроеннаго аппарата, 4 метра; движеніе получается черезъ развивающую односильную работу паровую машину. Аппаратъ былъ пущенъ съ корабля; онъ описалъ въ воздухѣ спиральный полетъ въ 100 м.



215. Аппаратъ Лиліенталя съ двойными крыльями.

въ поперечникѣ и медленно поднялся до 25 м. высоты. Послѣ того, какъ расчитанная на краткій полетъ паровая машина остановилась во время хода, аппаратъ медленно спустился, не получивъ никакого вреда. Полетъ былъ очень равномѣренъ и спокоенъ. При вторичномъ подъемѣ руль былъ установленъ по другому; аппаратъ сбоку полетѣлъ на выдающійся мысъ, поднялся на 8—10 метр. надъ вершиной лѣса и опустился послѣ полета около 900 метр., которые онъ сдѣлалъ въ 31 сек. Средняя быстрота полета составляла около 10 метр. въ секунду или 32—40 килом. въ часъ. Если также и съ этимъ опытомъ не можетъ быть связано чрезмѣрное ожиданіе, что въ скоромъ времени мы будемъ ѣздить по воздуху при помощи паролетательн. аппаратовъ, какъ теперь по желѣзной дорогѣ, все-таки несомнѣнно изобрѣтеніе это представляетъ значительный шагъ впередъ; оно во всякомъ случаѣ указываетъ на возможность свободнаго динамическаго полета и даетъ новый толчокъ дальнѣйшему развитію летательной техники.

Въ заключеніе разсмотримъ попытки паруснаго летанія прусскаго инженера Лиліенталя въ Берлинѣ, ставшія извѣстными во всемъ мірѣ и привлекшія въ сильной степени вниманіе всѣхъ, кто занимается теоретически или прак-

тически вопросомъ полета. Лиліенталь безъ сомнѣнія практически ушелъ *впередъ въ области* вопроса летанія дальше, чѣмъ всѣ техники. Можно возразить противъ того, что его теорія рѣшила этотъ вопросъ правильно; во всякомъ случаѣ онъ развилъ самымъ широкимъ образомъ попытки полета и паренія. Онъ искалъ рѣшеніе вопроса полета, прежде всего въ изученіи птичьяго полета, спеціально большихъ птицъ и при попыткахъ подражать имъ. Онъ исходилъ изъ того, что нельзя вопросъ рѣшить сразу, именно съ постройки большихъ летательныхъ машинъ съ котломъ и паровой машиной, въ родѣ машины Максима, и что проблема полета не разрѣшима сразу посредствомъ удачнаго изобрѣтенія, но только постепенное развитіе, основанное на изученіи сопротивленія воздуха, такъ же какъ и дѣйствія вѣтра на несущіяся тѣла и поверхности, можетъ привести къ успѣху.

Носясь въ воздухѣ, онъ могъ получить практическія свѣдѣнія въ летательной практикѣ, между тѣмъ какъ при дѣйствительномъ летаніи выступаютъ многія особенныя явленія, въ особенности вслѣдствіе неправильности вѣтра, которыя совершенно ускользали отъ расчетовъ, въ особенности прежнихъ теоретиковъ.

Лиліенталь пытался около 6 лѣтъ съ успѣхомъ образовать методу практическаго безопаснаго летанія. Онъ построилъ парусный летательный аппаратъ, съ которымъ онъ поднимался противъ вѣтра съ возвышенныхъ мѣстъ и на порядочныхъ протяженіяхъ носился въ воздухѣ, пока не опускался безъ толчка на землю. Такихъ парусныхъ полетовъ Лиліенталь совершилъ очень много, сначала съ маленькими, позднѣе съ большими парусными крыльями, которыя имѣли 14 метр. парусной поверхности и сверху до низу 7 метр. *Рис. 213 показываетъ по фотограф. снимку Лиліенталя съ его летательнымъ* аппаратомъ; онъ сбѣгаетъ съ расширенными крыльями по склону холма и противъ вѣтра, если таковой средній или слабый. При сильномъ вѣтрѣ предпріятіе еще слишкомъ опасно, такъ какъ неожиданный порывъ вѣтра, толкающій крылья сверху, сбрасываетъ человѣка вмѣстѣ съ аппаратомъ и прежде чѣмъ летуну удастся путемъ перемѣщеній центра тяжести своего тѣла направить крылья такъ, чтобы вѣтеръ дулъ опять снизу ихъ и поднялъ бы аппаратъ — ударяетъ послѣдній объ землю. Рис. 214 показываетъ по фотографическому моментальному снимку Лиліенталя съ своимъ аппаратомъ, несущимся въ воздухѣ въ ту минуту, когда усилившимся вѣтромъ онъ былъ поднятъ вверхъ съ наклоненіемъ пути полета. Употребленный летательный аппаратъ имѣетъ, какъ это видно, еще заднее рулевое крыло. Въ послѣднее время Лиліенталь существенно измѣнилъ свой аппаратъ, построивъ двойную пару крыльевъ, причемъ при мелкихъ крыльяхъ оставилъ все-таки большую подъемную поверхность, рис. 215; крылья этого аппарата имѣютъ вмѣстѣ 18 квм. поверхности при $5^1/_2$ м. расширенности. Съ этимъ аппаратомъ летунъ-виртуозъ сдѣлалъ опытъ при 10-метровой скорости вѣтра. При этомъ вѣтеръ поднялъ его безъ разбѣга съ вершины холма, и онъ могъ летѣть по горизонтальному направленію; путь полета былъ направленъ даже вверхъ, такъ что онъ сразу поднялся надъ мѣстомъ отправленія.

Лиліенталь много разъ обращалъ вниманіе на то, что такіе парусно-летательные опыты должны быть производимы съ особенной осторожностью, причемъ только постепенно, путемъ многихъ упражненій пріобрѣтается увѣренность, что не сдѣлаешься игрушкой вѣтра, а дашь вѣтру нести себя ловкимъ установленіемъ центра тяжести и перемѣщеніемъ крыльевъ и удержишь такимъ образомъ равновѣсіе.

Несмотря на то, что онъ хорошо зналъ опасность и только медленно, шагъ за шагомъ перешелъ отъ мелкихъ, легкихъ опытовъ къ болѣе труднымъ, все-таки онъ сталъ ихъ жертвой. Уже за годъ до этого ему не удался опытъ вблизи Берлина, при которомъ, вмѣсто того, чтобы спуститься мед-

ленно съ холма, онъ былъ подхваченъ съ большою скоростью; къ счастью онъ увязъ въ небольшое болото, у подошвы холма, которое было такъ мягко, что онъ отдѣлался хотя замѣтными, но неопасными поврежденіями. Лѣтомъ 1896 г. онъ упалъ 10 августа при опытѣ около Ринова съ большой высоты на землю такъ, что остался, смертельно разбившись, на мѣстѣ и вслѣдствіе поврежденія станового хребта скончался. Только за нѣсколько недѣль предъ тѣмъ Лиліенталь сдѣлалъ на ремесленной Берлинской выставкѣ въ докладѣ о своемъ изобрѣтеніи общее сообщеніе о его результатахъ; онъ выразилъ непреклонную надежду, что положенныя имъ начала разовьютъ все до большаго и большаго совершенства искусство летанія. Изъ его выводовъ явствуетъ, что онъ именно имѣлъ въ виду новымъ изобрѣтеніемъ сдѣлать шагъ впередъ; очень можетъ быть, что проба осуществить эту новую, слишкомъ смѣлую мысль принесла ему смерть.

Лиліенталь при своихъ опытахъ не дѣлалъ никакихъ взмаховъ крыльями, но старался только удерживать равновѣсіе и не быть повороченнымъ вѣтромъ; но онъ получилъ указаніе, что при долгомъ упражненіи въ концѣ концовъ могло удаться крыльевыми взмахами подниматься на любую высоту и, наклоняясь вбокъ, описывать круговой, устойчивый путь, какъ большія птицы.

Шагъ отъ прежнихъ успѣховъ и сознанія возможности до перваго дѣйствительно произведеннаго произвольнаго свободнаго полета, конечно, не легокъ, но путь для достиженія этой цѣли указанъ, и есть надежда, не слишкомъ утопическая, что въ недалекомъ времени человѣкъ не будетъ ограниченъ въ своемъ движеніи на землѣ только земной поверхностью, но будетъ въ состояніи свободно летать по воздуху.

(Надо прибавить, что въ самое послѣднее время вопросъ о летательныхъ снарядахъ подвинулся сильно впередъ. Обращаетъ на себя вниманіе своимъ оригинальнымъ типомъ и нѣкоторыми особыми приспособленіями между прочимъ летательная машина графа Цепелина, а также машина, устроенная недавно въ Берлинѣ I. Гофманомъ, а въ особенности воздушный автомобиль съ керосиновымъ двигателемъ Сантосъ-Дюмона, которому удалось лѣтомъ 1901 г. на своемъ воздушномъ кораблѣ обогнуть Эйфелеву башню въ Парижѣ и почти вернуться на мѣсто своего отправленія. Въ концѣ концовъ однако и Дюмонъ, какъ и многіе другіе, потерпѣлъ съ своимъ аппаратомъ неудачу. Въ Россіи этотъ вопросъ разработывается также съ давнихъ поръ и съ теоретической и практической сторонъ гг. Н. Е. Жуковскимъ, Данилевскимъ, Ціолковскимъ и др.).

I.

Физическія явленія и силы.

Значеніе и примѣненіе ихъ въ практической жизни.

Профессора **Л. Грунмаха.**

Физическія явленія и физическія силы.

Значеніе и примѣненіе ихъ въ практической жизни.

Мѣра и измѣреніе.

Введеніе. Три основныхъ понятія науки объ измѣреніи. Единицы длины, массы и времени. Измѣрительные приборы.

Мы съ удивленіемъ останавливаемся передъ тѣмъ неизмѣннымъ порядкомъ, который, повидимому, безъ всякаго умысла, господствуетъ въ природѣ. Всѣ явленія подчинены строгой закономѣрности, и это правило не терпитъ исключенія.

Мельчайшая пылинка участвуетъ въ непрерывномъ обмѣнѣ веществъ и силъ; на нее со всѣхъ сторонъ дѣйствуютъ силы, отовсюду получаетъ она притокъ веществъ, но и ея собственное дѣйствіе точно также обнаруживается по всѣмъ направленіямъ, причемъ она передаетъ тепло, свѣтъ или электричество, теряетъ вслѣдствіе химическаго разложенія часть своей массы или, благодаря своему движенію, вызываетъ движеніе сосѣднихъ частицъ вещества.

Какъ бы мала ни была эта частичка, ея превращенія настолько обширны, что, по сравненію съ ними, являются ничтожными обороты самаго большого банка. Ея балансъ установленъ съ точностью, если не до копейки, то до волнъ и до атома,—это мы заключаемъ изъ закона сохраненія энергіи.

Но, прежде чѣмъ удалось проникнуть взглядомъ достаточно глубоко въ эту экономію природы, нужно было открыть и изучить тѣ числовыя соотношенія, которымъ подчиняются явленія природы, и это изученіе потребовало не малаго времени. Дѣйствительно, ходъ развитія физическихъ знаній былъ таковъ, что вначалѣ каждое явленіе наблюдалось только качественно и лишь впослѣдствіи обращали вниманіе на количественныя соотношенія; вначалѣ ставили только вопросъ „что вообще совершается въ природѣ"? „Какія силы и взаимодѣйствія имѣютъ мѣсто между отдѣльными тѣлами"? затѣмъ уже прибавляются вопросы, сколько имѣется вещества и „на сколько велики силы и взаимодѣйствія"? Такимъ образомъ качественный характеръ физическихъ изслѣдованій постепенно превращается въ количественный, въ нахожденіе чиселъ"; и въ самомъ дѣлѣ начало измѣренія величинъ составляетъ важнѣйшій шагъ въ развитіи физическихъ знаній, а возможно точное численное опредѣленіе существующихъ въ природѣ не измѣняющихся величинъ, т. наз. „физическія постоянныя", представляютъ главную задачу физики. Блестящія побѣды, одержанныя за послѣднія десятилѣтія отдѣльными отраслями науки о природѣ, какъ-то астрономіей, геодезіей, химіей, и всевозможными связанными съ послѣдними отдѣлами техники и промышленности, обязаны

большею частью изощренію и усовершенствованію методовъ измѣренія и измѣрительныхъ приборовъ, которыми приходится пользоваться при изысканіяхъ.

Съ употребленіемъ мѣръ, всякая неопредѣленность перестаетъ имѣть значеніе. Измѣреніе является неподкупно строгимъ и вмѣстѣ съ тѣмъ вѣрнымъ другомъ, такъ какъ, будучи примѣнено правильно, оно одно позволяетъ дать надежную оцѣнку явленій.

Мы измѣряемъ количества различныхъ веществъ, которыя желаемъ употреблять для химической реакціи, и знаніе количественныхъ соотношеній, въ которыя они всегда соединяются, составляетъ такое громадное преимущество, потому что даетъ намъ возможность избѣгнуть наималѣйшей потери матеріала. Намъ извѣстны также числа колебаній, соотвѣтствующія различнымъ тонамъ, извѣстна скорость свѣта, скорость распространенія электричества и даже длина волнъ эфира, колебанія котораго производятъ свѣтовыя явленія, причемъ длина самыхъ значительныхъ изъ этихъ волнъ не достигаетъ и десятой доли миллиметра. Мы измѣряемъ и силу земного магнетизма, которая мѣняется непрерывно точно нервное возбужденіе; хотя колебанія ея необычайно малы, но тонкіе измѣрительные приборы и изощренные методы измѣренія позволяютъ не только замѣтить ихъ, но даже численно измѣрить. „Но это можетъ быть весьма интересно для самой науки“, возражаютъ мнѣ, „тогда какъ подобныя тонкія измѣренія для практической жизни не имѣютъ никакого значенія“. Опроверженіемъ является только-что приведенный выше примѣръ, взятый изъ области химіи, важное значеніе котораго для практики неоспоримо. Но часто даже самыя тонкія физическія изслѣдованія, имѣющія цѣлью выясненіе количественныхъ соотношеній явленія, влекутъ непосредственно тутъ же за собою обильные практическіе результаты. Такъ напр., нужно бываетъ весьма точно знать, въ какой мѣрѣ преломляется свѣтовой лучъ, переходя изъ одной среды въ другую, такъ какъ это даетъ средство хорошо изучить свойство стеколъ, съ надлежащимъ употребленіемъ которыхъ связано хорошее устройство оптическихъ приборовъ. Каждый кусокъ стекла, предназначаемый для изготовленія чечевицы, зрительной трубы или призмы спектроскопа, или какой-либо части хорошаго оптическаго прибора, изслѣдуется предварительно въ смыслѣ пригодности, и только потомъ придаютъ ему желаемую форму. Чтобы опредѣлить, содержится ли въ данномъ растворѣ сахаръ или другія опредѣленныя вещества и въ какомъ количествѣ, достаточно замѣтить уголъ поворота плоскости колебаній свѣтового луча опредѣленной преломляемости, когда послѣдній проходитъ слой рассматриваемой жидкости. Пришлось бы очень долго работать, разрѣшая этотъ вопросъ иными путями, тогда какъ указанный способъ даетъ отвѣтъ въ теченіе нѣсколькихъ минутъ. Эта быстрота опредѣленія составляетъ существенную поддержку для фабрикаціи сахара изъ свекловицы.

Нѣтъ надобности напоминать о спектральномъ анализѣ, который не только даетъ возможность быстро узнавать, какія вещества находятся во взятомъ соединеніи, но привелъ насъ къ открытію ряда новыхъ веществъ, неизвѣстныхъ ранѣе на землѣ; и мы обязаны этимъ ничему другому, какъ тщательному изученію преломляемости и длинѣ волнъ лучей свѣта, испускаемыхъ раскаленными тѣлами. Слѣдующія главы представятъ намъ обильное число новыхъ примѣровъ изъ областей физики и химіи.

Такимъ образомъ установленіе мѣръ и примѣненіе методовъ измѣренія имѣетъ большую цѣну не только для точной науки, но и для обыденной жизни. Это обстоятельство, легко усматриваемое уже изъ элементарныхъ международныхъ отношеній и получающее особенную важность при первой попыткѣ обмѣна, съ давнихъ временъ способствовало выработкѣ системы мѣръ и счета. Само собою разумѣется, что вначалѣ довольствовались

такими степенями точности, какими мы не удовлетворяемся теперь даже въ обыденномъ обиходѣ.

Всѣ блага, въ особенности время, получили тогда большую цѣну, благодаря чему самая малая доля не оставлялась безъ вниманія.

Результатъ измѣренія каждой физической величины состоитъ изъ двухъ факторовъ, именно изъ нѣкоторой величины, однородной съ измѣряемою и принимаемой за **единицу** для измѣренія и изъ отвлеченнаго числа. „Измѣрить какую-нибудь физическую величину" значитъ выразить послѣднюю числомъ черезъ посредство второй величины, принятой за единицу. Говоря, что длина этой колонны равна 12 м., мы даемъ результатъ ея измѣренія, состоящій изъ двухъ частей, именно, изъ числа „12" и изъ длины „метръ", принятой за единицу. Въ виду того, что число разнородныхъ величинъ, встрѣчающихся въ физикѣ, весьма значительно, напр. объемъ, скорость, сила, плотность, электрическое сопротивленіе и т. д., то для того, чтобы имѣть возможность измѣрять всѣ эти величины, пришлось бы установить соотвѣтственное же большое число различныхъ единицъ, т.-е. единицу для измѣренія объемовъ, единицу для скорости, для силъ, равнымъ образомъ для плотности, электрическаго сопротивленія и т. д.

Послѣднія же могутъ быть сведены къ тремъ основнымъ единицамъ. Дѣйствительно, всѣ физическія явленія, какъ механическія, такъ равно и явленія свѣта, тепла и электричества, сводятся въ концѣ концовъ на движенія, которыя частью доступны чувственному воспріятію, частью же представляютъ движенія молекулярныя, по своей малости невоспринимаемыя нашими чувствами непосредственно. Но всякое движеніе предполагаетъ существованіе трехъ основныхъ понятій: во-первыхъ, должно быть нѣчто, которое движется, субстратъ движенія, именуемый нами матеріей, или **массой**; во-вторыхъ, **пространство**, въ которомъ движеніе происходитъ, и въ-третьихъ **время**, требуемое для совершенія движенія. Поэтому для измѣренія движенія и необходимо прежде всего установить слѣдующія три единицы: единицу массы, единицу протяженности и единицу времени. Эти единицы называются **естественными**, если берутся непосредственно изъ природы, и, если онѣ установлены по взаимному соглашенію, **условными** единицами. Главныя требованія, которымъ онѣ должны удовлетворить, это, — неизмѣнность и легкая возобновляемость, чтобы единицы, въ случаѣ утраты ихъ при какихъ-либо печальныхъ обстоятельствахъ, могли быть возстановлены снова совершенно точно и безъ затрудненій.

Мѣры древнихъ. Первыя мѣры длины и слѣдовательно и пространства, упоминаемыя въ исторіи, суть мѣры естественныя; онѣ произошли изъ измѣренія отдѣльныхъ членовъ человѣческаго тѣла или же представляютъ длины, получаемыя при раздѣленіи послѣдняго на опредѣленныя части. Рука, локоть, футъ, дюймъ, пядь, шагъ, представляютъ наиболѣе древнія мѣры длины, встрѣчаемыя почти у всѣхъ культурныхъ народовъ древности. Благодаря почтенному возрасту, эти мѣры пользуются еще до сего времени такимъ расположеніемъ, въ особенности археологовъ, что почти каждый годъ литература вопроса объ измѣреніи обогащается однимъ произведеніемъ, въ которомъ рекомендуется ввести въ употребленіе, напр. шагъ или п. т., какъ единицу мѣры, имѣющую наиболѣе и историческихъ и природныхъ основаній.

Но такъ какъ въ органическихъ областяхъ господствуетъ наибольшее разнообразіе и постоянныя измѣненія, такъ какъ индивидуумы, отъ которыхъ можно бы было заимствовать единицы мѣры, къ сожалѣнію смертны, основныя требованія, предъявляемыя нами къ нормальнымъ единицамъ, т.-е. неизмѣняемость и легкая возстановляемость, при выборѣ этихъ природныхъ единицъ, остаются неудовлетворенными. Все-таки такой путь возникновенія

объясняетъ намъ то разнообразiе въ общеупотребительныхъ единицахъ длины, которое замѣчается среди отдѣльныхъ народовъ. Съ развитiемъ образованiя у народовъ должны были рано возникнуть заботы о сохраненiи общеупотребительныхъ единицъ. Конечно, вначалѣ, для этой цѣли укрѣпляли образцы мѣръ на стѣнахъ большихъ общественныхъ зданiй, позднѣе сохраняли ихъ въ общественныхъ учрежденiяхъ и присутственныхъ мѣстахъ. Съ расцвѣтомъ торговли и развитiемъ международныхъ сношенiй почувствовалась необходимость болѣе точнаго опредѣленiя единицъ, употребляемыхъ въ одной странѣ и сравненiя ихъ съ единицами, употребляемыми въ другихъ странахъ; уже въ срединѣ XVII-го столѣтiя возникла мысль объ установленiи всеобщей неизмѣнной естественной единицы мѣры.

Но прежде, чѣмъ перейти къ изложенiю возникновенiя и развитiя метрической системы, мы, ради культурно-историческаго интереса, посвятимъ коротенькiй очеркъ обзору системы мѣръ, употреблявшихся у древнихъ.

Древнiе не знали тѣхъ удивительныхъ методовъ измѣренiя, которые употребляются въ настоящее время при рѣшенiи физическихъ вопросовъ; эти методы суть изобрѣтенiя недавняго времени. Древнимъ были извѣстны мѣры длины, площадей и объемовъ; они имѣли понятiе объ абсолютномъ и удѣльномъ вѣсѣ тѣлъ, умѣли и измѣрять ихъ; они знали также методы измѣренiя времени и угловъ. Все это и составляетъ существенныя основы всякаго измѣренiя. Но въ примѣненiи методовъ естественнымъ образомъ недоставало точности, которая ставится непремѣннымъ условiемъ въ настоящее время. Обстоятельство, поражающее насъ при чтенiи древнихъ писателей, именно, что всѣ данныя измѣренiй приводятся почти всегда въ круглыхъ числахъ, заставляетъ предполагать, что и въ самомъ установленiи единицъ мѣры не гнались за особенной точностью. И если въ настоящее время представляетъ значительную трудность составить изъ данныхъ, часто противорѣчивыхъ, болѣе или менѣе точное представленiе о величинѣ какой-либо древней мѣры, то это происходитъ главнымъ образомъ отъ того, что подъ однимъ и тѣмъ же именемъ подразумѣваются иногда мѣры различной величины.

Широкое употребленiе мѣръ и методовъ измѣренiя мы встрѣчаемъ прежде всего у древняго культурнаго народа, египтянъ; это и неудивительно, потому что всестороннее образованiе и обширныя познанiя послѣднихъ, особенно же въ области естествознанiя, а также воздвиганiе величественныхъ образцовъ ихъ зодчества, предполагаютъ обстоятельное знакомство съ способами измѣренiя. Тѣмъ не менѣе, было бы уже слишкомъ приписывать египтянамъ заимствованiе единицъ длины изъ размѣровъ земли; послѣднее осуществило бы 3500 лѣтъ тому назадъ идею установленiя всеобщей неизмѣнной и естественной единицы мѣры.

Мнѣнiе, что единица мѣры египтянъ выведена изъ длины окружности земли, основывается на томъ, что, какъ полагаютъ, сторона основанiя большой пирамиды Мемфиса въ 500 разъ, локоть Нилометра, иначе называемый священный локоть, въ 200 000 разъ, а длина стадiя въ Лаодицеѣ ровно въ 500 разъ меньше длины градуса земли. Этими соотношенiями, а также сопоставленiемъ многихъ мѣстъ изъ древнихъ писателей пытаются доказать, что уже египтяне произвели градусныя измѣренiя, вычислили на основанiи послѣднихъ размѣры нашей земли и отсюда вывели свою систему мѣръ. Но принятiе существованiя подобнаго градуснаго измѣренiя, будто бы произведеннаго Эратосфеномъ между Сiеной и Александрiей, весьма мало вѣроятно. Скорѣе всего, что мы ставимъ всѣ древнiе культурные народы въ этомъ отношенiи слишкомъ высоко, а основанiемъ такой чрезмѣрной оцѣнки является склонность изслѣдователей древняго мiра находить глубокую внутреннюю связь тамъ, гдѣ все было, можетъ-быть, просто игрой случая.

Египетскія мѣры длины были выведены изъ измѣренія человѣческаго тѣла. Средняя длина человѣка (оргія 1,85 м.) раздѣлена на четыре части, изъ которыхъ каждая получила названіе локоть. Шестая часть оргіи называлась футъ. Болѣе мелкія мѣры выведены изъ длины ступни, ширины ладони и ширины пальца.

Вышина тростника дала начало сажени = 10 египетскихъ футъ; 60 саженъ составили стадій и т. д. Интересныя также соотношенія повидимому обнаруживаются при сравненіи размѣровъ пирамидъ.

Въ такой странѣ, какъ Египетъ, гдѣ пограничные знаки уничтожались ежегодными наводненіями, а потому часто требовалось повтореніе размежеванія земли, установленіе единицы для измѣренія площадей представляло существенный вопросъ общественной жизни. Наиболѣе употребительной единицей площадей была арура, квадратъ, длина стороны которой равнялась ста локтямъ.

Съ мѣрами евреевъ знакомятъ насъ библейскія сказанія, которыя содержатъ очень точныя данныя, именно при описаніи храмовъ. Какъ кажется, всѣ онѣ египетскаго происхожденія. День пути составлялъ 200 египетскихъ стадій, около 37 000 м., миля — 1000 шаговъ. Футовъ было два: большой легальный футъ, сераимъ = 0,3674 м., и малый, серетъ = 0,2771 м. и т. д.

Весьма разработана была система мѣръ у арабовъ, у націи, которая поддерживала оживленныя торговыя сношенія не только съ египтянами, но и съ городами, лежащими по ту сторону Средиземнаго моря и даже съ Азіей. Толщина верблюжьяго волоса представляла наименьшую мѣру, и малость этой единицы мѣры — вѣроятно, она была немного меньше половины миллиметра — даетъ возможность предполагать, что измѣренія протяженностей достигали у арабовъ весьма высокой степени точности. Другой единицей была ширина шести ячменныхъ зеренъ, положенныхъ рядомъ. Затѣмъ у нихъ были мѣры: палецъ, ладонь, футъ, нѣсколько локтей, между которыми особенно замѣчателенъ такъ называемый „черный локоть“ Аль-Мамума, такъ какъ въ этихъ единицахъ при указанномъ калифѣ было произведено градусное измѣреніе. Мѣра въ 6 ячменныхъ зеренъ содержалась въ черномъ локтѣ 27 разъ, и послѣдній равнялся 0,5196 м.

Кромѣ того у арабовъ были: египетскій, иначе торговый локоть, персидскій, королевскій, такъ называемый большой локоть Герона, шагъ, рута, оргія, а въ качествѣ большой единицы, парасангъ, который, будучи взятъ 20 разъ, составлялъ египетскій градусъ.

Греки заимствовали свои мѣры отъ египтянъ, а затѣмъ передали ихъ и римлянамъ. Изъ собственно греческихъ мѣръ мы укажемъ долихъ — длину пути, который назначался для колесницъ, бѣжавшихъ взапуски. По однимъ писателямъ эта длина составляла 12, по другимъ 20, а по нѣкоторымъ даже 24 стадіи. Стадіи, которыхъ было не мало, представляютъ длины колеблющихся размѣровъ. Одна представляла длину приблизительно въ 600 греческихъ футовъ, тогда какъ олимпійская стадія составляла почти $^1/_{40}$ долю географической мили. Половина долиха, т.-е. разстояніе между конечными пунктами ристалища, называлось „діаулъ“. „Дромъ“ назывался путь, который можетъ проплыть корабль на парусахъ или веслахъ въ теченіе 24 часовъ. Все это мѣры, выборъ которыхъ непосредственно связанъ съ интересами спорта, и которыя своею неопредѣленностью мало пригодны для точныхъ измѣреній. Меньшія же мѣры были заимствованы у египтянъ.

Вѣсъ измѣрялся талантами, которыхъ также было нѣсколько: меньшій изъ нихъ, сирійскій или птоломеевскій, соотвѣтствовалъ вѣсу около 7 кгр., между тѣмъ какъ бóльшій, эгинетскій, повидимому вѣсилъ около 45 кгр. Талантъ раздѣлялся на 60 минъ, мина на 100 драхмъ. Оболъ, мелкая монета, которая платилась Харону за перевозъ черезъ мрачныя воды Стикса, долженъ былъ вѣсить шестую долю драхмы.

Какъ уже было упомянуто, большая часть греческихъ мѣръ вошла въ употребленіе у римлянъ. У послѣднихъ были впрочемъ раньше заимствованія и собственныя мѣры, повидимому оберегавшіяся съ большей заботливостью, нежели у легкомысленнаго греческаго народа.

Основныя мѣры сохранялись ими, а точныя копіи были вырублены на общественныхъ зданіяхъ. На капитоліи имѣется много отмѣтокъ длины фута, изъ которыхъ послѣдняя опредѣляется равною 0,2959 метра. Другіе эталоны фута, находимые въ различныхъ мѣстахъ, рѣдко отклоняются отъ приведенной длины на 1 мм.; тѣ же, которые хорошо сохранились, часто не отличаются отъ нея болѣе, чѣмъ на 0,1 мм. Наименьшей римской мѣрой былъ дигитъ (0,0185 м.), далѣе слѣдуетъ уника (0,0246 м.), пальма (0,0739 м.), песъ (0,2959 м.), пальмипесъ (0,3659 м.), кубитъ (0,4434 м.), нассусъ (1,478 м.), пертика (2,9562 м.). Въ римской милѣ содержалось 500 рутъ (пертика), а дневной путь (iter pedestre) состоялъ изъ 18,75 такихъ миль. Въ качествѣ полевой мѣры употреблялся югеръ, т.-е. такая площадь, которая могла быть вспахана однимъ ярмомъ быковъ въ теченіе одного дня. Мѣры сыпучихъ и жидкихъ тѣлъ были также опредѣлены точно; основною единицею для первыхъ былъ четверикъ (modius), для вторыхъ амфора, вмѣстимость которой равнялась какъ разъ одному кубическому римскому футу. Римская вѣсовая система удержалась въ нашихъ аптекарскихъ мѣрахъ вѣса даже до настоящаго времени. Фунтъ (libra) дѣлился на 12 унцій, унція на 24 скрупула (scrupulum), а скрупулъ на 20 гранъ (granum зерно). Вслѣдствіе введенія закономъ во всеобщее употребленіе метрической системы, старинный аптекарскій вѣсъ устраненъ во всей Германіи, и съ установленіемъ общей нѣмецкой фармакопеи граммовая система объявлена медицинской системой вѣса. Во Франціи послѣднее состоялось уже въ 1840 г. [1]).

Мы остановились съ особеннымъ интересомъ на мѣрахъ древнихъ культурныхъ народовъ, египтянъ, евреевъ, грековъ и римлянъ. Это вполнѣ естественно, такъ какъ новѣйшая цивилизація развилась по наслѣдству, доставшемуся намъ отъ древнихъ народовъ, и воззрѣнія, господствовавшія въ древности не утратили своего вліянія на насъ и по настоящее время. Относительно мѣръ другихъ народовъ, не стоящихъ въ тѣсной связи съ нашей культурой, напр. китайцевъ, достаточно сказать то, что было уже приведено нѣсколько выше, именно, что онѣ естественнымъ образомъ и прежде всего выводились изъ такихъ величинъ, которыя природа воспроизводитъ почти въ однѣхъ и тѣхъ же размѣрахъ, которыя притомъ находятся во всякое время у человѣка подъ рукою, такъ что легко и когда угодно могутъ быть употреблены для сравненія. Такими величинами являются прежде всего человѣческая рука, ноги, длина плечевой кости, величина шага, а потому мы и находимъ эти мѣры почти повсюду, какъ первыя единицы измѣренія при опредѣленіи длины.

Стремленіе къ установленію всеобщей системы мѣръ. Въ 1664 году Гюйгенсъ совершилъ геніальный шагъ, положивъ въ основу измѣренія длину простого секунднаго маятника, длину неизмѣняемую и опредѣляемую экспериментально въ любое время. Вскорѣ послѣдовавшее затѣмъ случайное открытіе Рихера, сдѣланное имъ при наблюденіяхъ качаній маятника въ Кайеннѣ, именно, что длина секунднаго маятника, вслѣдствіе различій притягательной силы земли въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности, должна зависѣть отъ широты мѣста, измѣнило универсальный характеръ Гюйгенсова положенія тѣмъ, что теперь за единицу длины принимается длина секунд-

[1]) Въ Россіи только нѣсколько лѣтъ тому назадъ признана желательнымъ замѣна прежняго аптекарскаго вѣса новымъ и разрѣшено врачамъ писать рецепты какъ по граммовой, такъ и по прежней системѣ.

Прим. пер.

наго маятника, измѣренная въ совершенно опредѣленномъ мѣстѣ земной поверхности. Такъ, Кондаминъ предложилъ въ 1740 г. длину маятника подъ экваторомъ, а Бугеръ длину его подъ 45° широты.

Не признавая того факта, что уже египтяне вывели свою систему мѣръ изъ измѣренія земли, мы должны приписать честь перваго обнародованія этой замѣчательной идеи ліонскому астроному Габріэлю Мутонъ. Въ сочиненіи „Observationes Diametrorum", появившемся въ Ліонѣ въ 1670 г., онъ дѣлаетъ предложеніе принять длину дуги меридіана въ одну минуту за нормальную единицу подъ названіемъ милліаръ, или миля, а также раздѣлить послѣднюю по десятичной системѣ на центуріи, декуріи, бирги, биргули, децимы, центезимы и миллезимы. Такимъ образомъ заслуга вывода раціональной системы мѣръ изъ размѣровъ земли, системы, сдѣлавшейся впослѣдствіи международною, принадлежитъ несомнѣнно французамъ, именно Лапласъ принималъ весьма видное участіе въ осуществленіи этой идеи. Въ 1790 г. Талейранъ Перигоръ созвалъ комиссію для установленія основной единицы длины изъ длины секунднаго маятника. Комиссія состояла изъ извѣстныхъ ученыхъ, Борда, Кондорсе, Лагранжа, Лапласа, Монжа, и высказалась противъ принятія длины секунднаго маятника за единицу, такъ какъ эта длина требуетъ для своего установленія введенія новаго элемента—времени, а слѣдовательно, зависитъ отъ произвольнаго раздѣленія солнечныхъ сутокъ на 86 400 секундъ. Съ другой стороны, въ виду того, что градусныя измѣренія предполагалось произвести просто изъ научнаго интереса, они предложили вычислить величину квадранта, т.-е. разстояніе между сѣвернымъ полюсомъ и экваторомъ, измѣренное по меридіану, и принять одну десятимилліонную долю этого разстоянія за единицу длины подъ названіемъ „метръ"; кромѣ этого предположено сохранить, въ качествѣ контрольной мѣры, и длину простого секунднаго маятника, измѣренную подъ 45° широты. Наблюденія надъ маятникомъ были произведены съ необычайною точностью Кассини и Борда, а градусныя измѣренія между Дюнкирхеномъ и Барселоной произвели Мешенъ и Деламбръ. Тогда какъ эти послѣднія измѣренія имѣли цѣлью установленіе новой единицы длины, за 60 лѣтъ до этого двѣ геодезическихъ экспедиціи, отправленныя изъ Франціи одна въ Лапландію (изъ Мопертюи, Клеранъ и Отье), другая къ экватору (изъ Кондамина и Бугера), напротивъ, поставили задачей подвергнуть строгой повѣркѣ общеупотребительную въ то время во Франціи мѣру, туазъ; для градусныхъ измѣреній, произведенныхъ этими экспедиціями, были приготовлены два нормальныхъ туаза, насколько возможно близко совпадающіе по длинѣ съ находившимся во всеобщемъ употребленіи.

Одинъ изъ этихъ нормальныхъ туазовъ, именно употреблявшійся въ Лапландіи, былъ поврежденъ при крушеніи судна, другой, употреблявшійся въ Перу, остался невредимъ и принятъ подъ именемъ „Toise du Pérou" за французскую единицу длины. Этотъ масштабъ, сдѣлавшійся потомъ столь извѣстнымъ представителемъ étalon à bouts, т.-е. длина считается между его конечными точками. Онъ приготовленъ Ланглуа изъ желѣза въ 1735 г. и имѣетъ истинную длину при 13° R.; онъ раздѣленъ на 6 футъ, каждый футъ на 12 дюймовъ, и дюймъ на 12 линій. Въ этихъ линіяхъ и была выражена длина метра, выведенная изъ послѣдняго градуснаго измѣренія (Барселона—Дюнкирхенъ); она установлена закономъ равною 441,296 линіи Toise du Pérou и получила названіе „mètre vrai et définitif". Mètre vrai et définitif представляетъ также étalon à bouts, приготовленный Ленуаромъ изъ платины, и имѣетъ истинную длину при температурѣ тающаго льда, т.-е. при 0° C. Онъ хранится въ Парижѣ въ „Conservatoire des arts et métiers", называется также „mètre des Archives" и есть родоначальникъ всѣхъ употребляющихся у различныхъ націй эталоновъ. Такимъ образомъ основою новой французской единицы длины оста-

лась, собственно говоря, „Toise du Pérou“, а метръ представляетъ лишь санкціонированную извѣстную ея часть, которая равна приблизительно одной десятимилліонной земного квадранта и раздѣлена по десятичной системѣ, вмѣсто менѣе удобнаго двѣнадцатиричнаго подраздѣленія туаза. Во время Парижской выставки 1867 г., въ особо назначенной комиссіи, состоявшей изъ представителей всѣхъ націй, былъ снова и весьма обстоятельно разсмотрѣнъ вопросъ объ объединеніи единицъ мѣры, вѣса и монеты. Въ самомъ центрѣ выставочнаго зданія, тамъ, гдѣ перекрещиваются пути, ведущіе изъ отдѣловъ выставки, принадлежащихъ всевозможнымъ странамъ міра, возвышается павильонъ, въ которомъ выставлены мѣры и монеты различныхъ странъ (первыя въ видѣ точныхъ эталоновъ). Но выставка въ этомъ кругломъ, наподобіе храма, павильонѣ, при всемъ своемъ разнообразіи, далеко не исчерпывала всего. Одна Германія могла бы заполнить его, если бы выставила въ видѣ масштабовъ тѣ многія сотни локтей и футовъ, которыя еще были тогда въ ходу или по крайней мѣрѣ не были вполнѣ упразднены и замѣнены одною общею мѣрою во всѣхъ составляющихъ ее государствахъ, большихъ и малыхъ. Одинаковыя мѣры имѣли Франція, Италія, Испанія, Португалія, Бельгія, Голландія, Чили, Перу, Новая Гренада, Боливія, Венецуэла, а также французская и голландская Гвинея; въ нихъ уже была введена французская метрическая система мѣръ. Остальныя же государства и между ними Англія, Германія, Россія имѣли каждое свои особыя единицы мѣръ. Но въ совѣщаніяхъ комиссіи признано желательнымъ всеобщее объединеніе, и метрическая система мѣръ признана наиболѣе подходящею для введенія ея повсюду. Какъ „обязательныя“, въ полномъ смыслѣ этого слова, приняты для международной системы мѣръ, слѣдующія положенія:

1. Единица мѣры должна быть неизмѣнною; она должна допускать возможное удобство въ обращеніи, быть таковой, чтобы могла быть выведена въ любое время при помощи опредѣленныхъ возможно простыхъ способовъ изъ размѣровъ, имѣющихся въ самой природѣ и притомъ не измѣняющихся.

2. Система, построенная на этой единицѣ, должна и въ высшихъ и въ низшихъ подраздѣленіяхъ слѣдовать исключительно десятичному дѣленію: мѣры длины, площадей, объемовъ и т. д. должны имѣть между собою естественную, простую и наглядную зависимость; обозначеніе отдѣльныхъ единицъ мѣръ должно быть такимъ, чтобы, изъ самыхъ названій отдѣльныхъ единицъ мѣры явствовало, въ какомъ соотношеніи находятся послѣднія.

Но не слѣдуетъ придавать очень большого значенія тому обстоятельству, что единица мѣры должна быть легко выводима въ любое время изъ извѣстныхъ размѣровъ, имѣющихся въ самой природѣ и не измѣняющихся. Въ самомъ дѣлѣ, если нѣтъ никакого смысла принимать самую протяженность, имѣющуюся въ природѣ, за единицу мѣры, а приходится принимать такую выведенную изъ нея величину, которая по своимъ размѣрамъ окажется удобною для практическаго пользованія, лишь бы только было точно извѣстно численное отношеніе между этой послѣдней и той, изъ которой она выводится, то ясно, что всякая произвольная протяженность можетъ быть считаема за естественную, если только ея отношеніе къ какой-либо природной неизмѣнной протяженности съ точностью извѣстно. Такимъ образомъ напр. опредѣляется англійскій ярдъ, и система, построенная на немъ, можетъ быть считаема за естественную; въ самомъ дѣлѣ, въ Лондонѣ была точно измѣрена длина секунднаго маятника, и парламентскимъ постановленіемъ отъ 17 іюня 1824 г. приказано считать, что длина ярда относится къ длинѣ секунднаго маятника, какъ 36 : 39,13929 (при широтѣ Лондона, приведенная къ уровню моря и безвоздушному пространству и измѣренная при 62° Ф). Англійскій кубическій дюймъ дистиллированной воды долженъ при 62° Ф и при 30 англ. дюймахъ барометрическаго давленія (съ тѣми же поправками)

вѣситъ 252,458 гранъ, причемъ фунтъ предполагается содержащимъ 5760 гранъ. Такимъ образомъ единица можетъ быть естественною, если только она будетъ имѣть при всѣхъ обстоятельствахъ одинаковый интересъ для всѣхъ жителей земной поверхности.

Естественныхъ единицъ, удовлетворяющихъ послѣднему условію, можно предложить двѣ.

Длина пути, который пробѣгаетъ въ безвоздушномъ пространствѣ свободно падающее тѣло въ теченіе одной секунды въ опредѣленномъ мѣстѣ земной поверхности, есть опредѣленная величина, отъ которой зависитъ длина простого секунднаго маятника. Простой или математическій маятникъ мы представляемъ себѣ состоящимъ изъ матеріальной точки, подвѣшенной на невѣсомой, негибкой и нерастяжимой нити. Длина такого простого маятника, продолжительность колебанія котораго составляетъ одну секунду, вычисляется по извѣстнымъ методамъ изъ наблюденій надъ матеріальнымъ физическимъ маятникомъ, и длина, такимъ образомъ найденная, представляетъ для даннаго мѣста земли совершенно опредѣленную протяженность, которую можно снова получить при повтореніи опытовъ, иначе говоря, представляетъ естественную единицу.

Второй естественной единицей можетъ служить разстояніе между двумя опредѣленными точками земной поверхности, измѣреніе котораго также можетъ быть воспроизведено въ любое время.

Третью естественную единицу представляетъ длина волны опредѣленнаго свѣтового луча, которая, какъ это будетъ показано въ оптикѣ, всегда можетъ быть легко измѣрена и точно опредѣлена.

Главное преимущество метрической системы мѣръ основывается не столько на теоретическомъ абсолютномъ значеніи принятой въ ней единицы (впрочемъ и это сильно способствовало всеобщему ея распространенію), сколько на удобствѣ и наглядности десятичнаго подраздѣленія, которымъ связаны отдѣльныя единицы, а также на той простотѣ взаимныхъ соотношеній между единицами объема и вѣса, къ которой намъ еще предстоитъ вернуться. И, несмотря на эти весьма признаваемыя преимущества, метрическая система лишь медленно завоевываетъ мѣсто. Со стороны компетентныхъ лицъ ей дѣлали справедливый упрекъ, что длина, принятая въ ней за единицу, непрактична, слишкомъ сильно разнится отъ общеупотребительной единицы и не отвѣчаетъ потребностямъ торговли и обращенія; сюда присоединилась еще сила привычки придерживаться стараго, національная зависть и тщеславіе, стремленіе сохранить самобытность и вмѣстѣ съ тѣмъ естественное отвращеніе къ столь глубоко проникающему нововведенію, каковымъ является введеніе системы мѣръ, притомъ еще не выдержавшей достаточно пробу въ практическихъ приложеніяхъ.

Однако такое малодушіе мало-по-малу исчезало передъ высокой идеей общенародной системы мѣръ, а слѣдовательно общаго, весьма понятнаго языка при количественныхъ вопросахъ техническихъ и научныхъ изслѣдованій. Благодаря идеѣ, положенной въ ея основу, метрическая система имѣла наибольшее право стать общенародной, и дѣйствительно за послѣднее время всѣ цивилизованныя націи, даже такія, которыя обладали хорошо развитой системой мѣръ, какъ напр. Пруссія, молчаливо признала преимущество французской системы, какъ всеобщей, и почти всѣ приняли „mètre des Archives“ за основную единицу.

Такъ, сѣверно-нѣмецкій союзъ призналъ закономъ отъ 17 августа 1868 г. метръ за основу мѣръ и вѣсовъ и постановилъ считать нормальной единицей платиновый метръ, который тогда принадлежалъ Прусскому государству, а теперь помѣщается въ хранилищѣ Императорской нормальной повѣрочной комиссіи, и который комиссія, избранная Пруссіей и Франціей въ 1863 г.,

нашла равнымъ 1,00000301 „mètre des Archives“. Различныя правительства *должны были изготовить для своихъ государствъ точныя копiи метра, чтобы* ввести его въ торговлю, науку и промышленность. Однако эти копiи были приготовлены независимо одна отъ другой изъ различнаго матерiала и сравнивались съ французскимъ прототипомъ при различныхъ температурахъ. Этотъ недостатокъ однообразiя заставляетъ опасаться того, чтобы вопросъ о всеобщей единицѣ мѣръ не выплылъ снова на очередь, если только все, что касается сравненiя эталоновъ, не будетъ производиться со всею научною строгостью.

То обстоятельство, что французскiе ученые предоставили Францiи исключительное право храненiя и завѣдыванiя прототипомъ, препятствовало всеобщему введенiю метра. Государства, желавшiя ввести послѣднiй или по меньшей мѣрѣ изготовить точныя копiи для потребностей науки и промышленности, должны были производить сравненiе ихъ съ прототипомъ черезъ французскихъ *чиновниковъ или же посылать своихъ ученыхъ въ Парижъ.* Въ дѣйствительности же, для подобныхъ сравненiй были предоставлены въ распоряженiе ихъ такiе компараторы, которые не удовлетворяли послѣднимъ требованiямъ точности измѣрительнаго искусства, благодаря чему иностранные ученые часто вынуждены были ѣздить въ Парижъ для производства измѣренiя со своими компараторами. Далѣе, чтобы предохранить прототипы, не представлявшiе надежной гарантiи своей неизмѣняемости, такъ какъ они были изготовлены изъ совершенно чистой, слѣдовательно довольно мягкой платины, приходилось и при сравненiи довольствоваться копiями съ послѣднихъ, сдѣланными также не съ достаточною точностью. Поэтому требовать точныхъ копiй оказывалось невозможнымъ, и слѣдствiемъ этого было то, что даже при сравненiи мѣръ въ одной и той же странѣ обнаруживались отклоненiя, въ сотни разъ превышавшiя возможныя ошибки измѣренiй.

Съ различныхъ сторонъ, отъ всевозможныхъ ученыхъ корпорацiй, международныхъ, статистическихъ и геодезическихъ конгрессовъ начали поступать заявленiя о необходимости устраненiя этихъ неудобствъ, и по инициативѣ петербургскаго академика Якоби предположено учредить международную комиссiю для установленiя новыхъ прототиповъ метра и копiй его для всѣхъ странъ, а также основать постоянное, прочно организованное международное бюро для сравненiя мѣръ. Вслѣдствiе этого французское правительство, до сихъ поръ по вышеизложеннымъ причинамъ уклонявшееся, или по меньшей мѣрѣ безучастное къ подобнымъ предложенiямъ, оказалось вынужденнымъ пригласить въ 1870 г. на международную конференцiю всѣ цивилизованныя государства мiра; однако военныя событiя заставили отложить это дѣло еще на нѣкоторое время.

Въ 1872 г., по повторенiи приглашенiя французскимъ правительствомъ, собралась международная конференцiя, которая и приняла рѣшенiе, положивъ въ основу французскiе прототипы метра, изготовить новые международные прототипы, прежде всего для 28 государствъ, принявшихъ участiе въ конференцiи; одновременно съ этимъ конференцiя избрала первый комитетъ международной комиссiи по установленiю метра, предназначенный для веденiя сношенiй и дѣлъ.

По инициативѣ послѣдней, 1 февраля 1875 г. была созвана въ Парижѣ дипломатическая конференцiя, въ которой большинство государствъ, принимавшихъ участiе въ международной конференцiи 1872 г., присутствовало въ лицѣ своихъ представителей—министровъ, посланниковъ или особо командированныхъ для этой цѣли ученыхъ. Большая часть тѣхъ изъ нихъ, которымъ поручена была разработка проекта организацiи международнаго бюро мѣръ и вѣсовъ, представила конференцiи проектъ, который послѣ долгихъ споровъ и возраженiй, веденныхъ главнымъ образомъ на почвѣ политики,

и былъ наконецъ подписанъ 20 мая 1875 г. слѣдующими государствами: Германіей, Австро-Венгріей, Бельгіей, Бразиліей, Аргентинской республикой, Даніей, Испаніей, Сѣверо-Американскими Соединенными Штатами, Франціей, Италіей, Перу, Португаліей, Россіей, Швеціей, Норвегіей, Швецаріей, Турціей и Венецуэлой.

Согласно договору, заключенному пока только на 12 лѣтъ, вступавшему въ силу съ 1 января 1876 года и къ которому каждому новому государству предоставлялось право присоединиться, учреждался въ Парижѣ на общія средства первый научный институтъ подъ именемъ „международнаго бюро мѣръ и вѣсовъ“. Завѣдываніе имъ предоставлялось международному комитету, который со своей стороны подчиненъ „общей конференціи мѣръ и вѣсовъ“, состоящей изъ представителей всѣхъ правительствъ, заключившихъ договоръ, и находящейся подъ предсѣдательствомъ президента парижской академіи.

Этому бюро, расположенному въ павильонѣ Бретейль вблизи Севра и снабжаемому всѣми средствами новѣйшаго измѣрительнаго искусства, поручаются, согласно пункту 6 конвенціи, касающемуся дѣятельности международнаго бюро мѣръ и вѣсовъ, слѣдующія работы:

1. Производить теперь и впредь всѣ сравненія и повѣрки новыхъ прототиповъ и ихъ копій.

2. Хранить новые международные прототипы.

3. Сравнивать новые прототипы съ неметрическими употребляющимися или употреблявшимися въ различныхъ странахъ или въ различныхъ наукахъ мѣрами.

4. Производить точное сравненіе всевозможныхъ мѣръ и вѣсовъ, освидѣтельствованіе которыхъ является желательнымъ для какого-либо правительства, учрежденія, ученаго общества или частнаго лица.

За матеріалъ для изготовленія новыхъ прототиповъ избранъ сплавъ изъ 90% платины и 10% иридія, который можно получить вполнѣ чистымъ по методѣ знаменитаго французскаго химика Сенъ-Клеръ-Девилля и который по своимъ физическимъ и химическимъ качествамъ повидимому представляетъ всѣ гарантіи неизмѣняемости.

Съ другой стороны наиболѣе подходящимъ матеріаломъ для прототиповъ признанъ бериллъ и особенно горный хрусталь, благодаря его твердости, малой величинѣ коэффиціэнта расширенія и малой измѣняемости. Именно боннскій профессоръ Кекуле указалъ на то обстоятельство, „что всѣ аморфныя тѣла“, будутъ ли они получены посредствомъ выливанія, прессованія, прокатыванія, ковки или чеканки, имѣютъ тенденцію переходить въ кристаллическое состояніе. Молекулы такихъ тѣлъ находятся въ болѣе или менѣе напряженномъ состояніи и стремятся достичь положенія равновѣсія. Когда наступаютъ подходящія условія, молекулы перемѣщаются по соотвѣтственнымъ направленіямъ, и результатомъ этихъ перемѣщеній является неправильное измѣненіе внѣшней формы разсматриваемаго аморфнаго тѣла. Напротивъ въ тѣлѣ, правильно кристаллизованномъ, частицы группированы около положеній равновѣсія, имъ свойственныхъ, напряженій нѣтъ, нѣтъ слѣдовательно и стремленія мѣнять расположеніе.

Поэтому внѣшняя форма окристаллизованнаго тѣла никогда не мѣняется неправильно подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ вліяній, а всегда равномѣрно, безразлично, вызываются ли эти измѣненія температурой или сотрясеніями. „Изъ этого слѣдуетъ“, заключилъ профессоръ Кекуле, что и нормальные мѣры или вѣса, изготовляемые изъ металла, могутъ оказаться невѣрными, тогда какъ прототипы, сдѣланные изъ кристаллическаго тѣла, напримѣръ изъ горнаго хрусталя, будутъ всегда правильны.

Но со стороны комиссіи послѣдовалъ отказъ избрать горный хрусталь

въ качествѣ матеріала для прототипа единицы длины, прежде всего потому, что достаточно большіе однородные куски горнаго хрусталя до сихъ поръ не встрѣчались въ природѣ, между тѣмъ какъ было бы нецѣлесообразно изготовить короткія въ одинъ или два дециметра стержни изъ хрусталя, въ виду возможности значительнаго накопленія ошибокъ при сравненіи этихъ короткихъ длинъ съ значительно болѣе длинными стержнями. Что же касается теоретически предсказываемой неизмѣняемости эталоновъ вѣса, приготовленныхъ изъ горнаго хрусталя, то опыты ограничивались до сихъ поръ сравненіемъ такихъ вѣсовъ между собою и, хотя разность въ вѣсѣ дѣйствительно всегда оказывалась неизмѣнною, это не исключаетъ, однако, возможности одинаковаго измѣненія въ вѣсѣ обоихъ образцовъ.

Изготовленіе новыхъ прототиповъ метра международная комиссія ввѣряла французской секціи. Но вначалѣ работы послѣдней не достигли желаемыхъ результатовъ. Причиною неуспѣха, какъ видно изъ донесенія профессора Вильда, петербургскаго академика, являются отчасти нѣсколько преждевременныя и не совсѣмъ практичныя постановленія международной комиссіи, согласно которымъ новые прототипы долженствовали быть изготовленными изъ сплава платины съ иридіемъ, свойства котораго въ то время не были достаточно изслѣдованы, притомъ всѣ они должны быть изготовлены изъ одного литого куска сплава вѣсомъ въ 250 кгр., и имѣть форму сѣченія, найденную наиболѣе цѣлесообразной по теоретическимъ соображеніямъ (приблизительно форму X), но трудно выполнимую практически.

Но прежде чѣмъ перейти къ сообщенію данныхъ, касающихся заключительныхъ изслѣдованій международной комиссіи, мы позволимъ себѣ бросить бѣглый взглядъ на исторію градусныхъ измѣреній, одно изъ которыхъ, именно опредѣленіе „Toise du Pérou“, имѣло, какъ мы видѣли выше, большое значеніе для осуществленія общей системы мѣръ въ научномъ мірѣ.

Градусныя измѣренія. Первыя попытки опредѣленія размѣровъ земли мы встрѣчаемъ у египтянъ. Пиѳагоръ или Аристотель доказали шарообразность формы земли, Эратосѳенъ Киренскій попытался найти ея величину и, хотя этому мудрецу нельзя приписать заслугу произведенія градусныхъ измѣреній, иначе говоря, онъ не опредѣлилъ разстоянія между двумя точками одного и того же меридіана, точно установленными астрономически, тѣмъ не менѣе за нимъ остается честь нахожденія правильнаго метода и перваго примѣненія его къ опредѣленію земныхъ размѣровъ.

Собственно, первыя градусныя измѣренія были произведены въ 9 столѣтіи въ Аравійскомъ заливѣ, по приказанію калифа Аль-Мамума. Геометры, ихъ выполнявшіе, раздѣлялись на двѣ партіи для того, чтобы работы ихъ могли служить другъ другу контролемъ. Величины, найденныя для одного градуса, т.-е. одной 360-й части круга, отличаются одна отъ другой довольно значительно, именно, по измѣреніямъ одной изъ экспедицій, градусъ равенъ 46, по измѣреніямъ второй,—56,5 арабскихъ миль. Къ сожалѣнію, мы не можемъ рѣшить, сколь близки эти числа къ истинной величинѣ градуса, такъ какъ недостаетъ свѣдѣній точной длинѣ арабской мили.

Послѣ этого подобныя измѣренія повидимому не возобновлялись въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ. Интересъ къ географическимъ наукамъ былъ незначителенъ, а всеобщая важность рѣшенія этого вопроса еще не приходила въ голову. Только въ 1525 г. послѣ большого кругосвѣтнаго плаванія этотъ вопросъ снова возбудилъ всеобщій интересъ.

Первое послѣ арабовъ градусное измѣреніе предпринялъ въ пустынѣ Сингаръ придворный медикъ короля Генриха II, извѣстный также и намъ математикъ Фернель. По измѣреніямъ, произведеннымъ самымъ примитивнымъ путемъ, длина градуса меридіана оказалось равною 57070 туазамъ, что почти совпадаетъ съ числомъ, полученнымъ при новѣйшихъ измѣреніяхъ, при которыхъ пользовались совершеннѣйшими инструментами, и на основаніи строгихъ данныхъ науки были крайне остроумно приняты во вниманіе всевозможныя обстоятельства, могущія такъ или иначе вліять на предпріятіе. Но это согласіе есть не болѣе, какъ игра случая.

Въ самомъ дѣлѣ Фернель, для измѣренія разстоянія между Парижемъ и Амьеномъ, которыхъ угловое разстояніе было извѣстно съ точностью, употребилъ

не болѣе не менѣе какъ простой экипажъ, въ которомъ онъ и проѣзжалъ измѣряемый путь. Изъ числа оборотовъ, сдѣланныхъ колесами въ продолженіе пути, онъ вычислилъ длину измѣряемой дуги. Такой пріемъ конечно не можетъ имѣть никакихъ притязаній на точность, и если результатъ оказался все-таки весьма близкимъ къ истинѣ, то это произошло отъ того, что случайно однѣ ошибки покрыли другія.

Въ 1615 г. геометръ Снеллій произвелъ градусныя измѣренія между Алькмаромъ и Бергеномъ на Цумѣ въ Голландіи. Дуга, измѣренная имъ, составляла 1° 11′ 30″, и величина градуса оказалась равною 52 021 туазамъ. Это измѣреніе интересно тѣмъ, что при немъ впервые примѣненъ методъ тріангуляціи, изобрѣтеніе котораго принадлежитъ тому же Снеллію.

Другимъ крайне труднымъ методомъ, именно непосредственнымъ измѣреніемъ части дуги мѣрною цѣпью, производилъ Норвудъ уже упомянутое выше измѣреніе 1635 г. между Лондономъ и Іоркомъ, причемъ длина градуса была вычислена въ 57 424 туаза. Ричіоли получилъ число, сильно отличающееся отъ вышеприведеннаго, именно 62 650 туазовъ. Видя всю важность этого вопроса и въ виду того, что благодаря значительнымъ отклоненіямъ, обнаруживающимся въ измѣреніяхъ, до сего времени произведенныхъ въ этой области, невозможно заключить объ истинной величинѣ градуса, французская академія рѣшила предпринять новое измѣреніе, приложивъ къ нему всѣ имѣвшіяся подъ руками научныя средства.



216. Иванъ Яковъ Бейеръ.

Задача эта была возложена на извѣстнаго геометра того времени Пикара. Послѣдній производилъ свои работы со всею добросовѣстностью въ теченіе 1670 г., и его измѣренія предпочтительно передъ остальными заслуживаютъ довѣрія. Имъ измѣрена дуга между Амьеномъ и Мальвуазиномъ, величиною въ 1° 22′ 28″, и длина градуса вычислена въ 57 060 туазовъ.

На основаніи именно этихъ данныхъ Ньютонъ и Гюйгенсъ вычислили величину земли, которую все еще считали за совершенный шаръ.

Когда же Рише сдѣлалъ уже упомянутое выше открытіе, именно, что секундный маятникъ, вѣрный для Парижа, долженъ быть укороченъ на 1,4 парижскихъ линій для того, чтобы его время колебанія составляло одну секунду въ Кайеннѣ, и даже, когда оказалось, что эта поправка не есть слѣдствіе теплаго расширенія, Ньютонъ высказалъ мнѣніе, что это измѣненіе длины секунднаго маятника есть слѣдствіе центробѣжной силы, возникающей отъ вращенія земли. Затѣмъ отсюда же вывелъ онъ, что у экватора, гдѣ центробѣжная сила наибольшая, масса земли должна быть болѣе скучена, нежели у полюсовъ, что такимъ образомъ, земля представляетъ не шаръ, а сплющенный эллипсоидъ. Для разрѣшенія этого вопроса, по иниціативѣ Пикара, было произведено новое измѣреніе градуса двумя Кассини, Доминикомъ и Яковомъ, и парижскій меридіанъ измѣренъ во Франціи по всей своей длинѣ. Но при этомъ пришли къ замѣчательнымъ результатамъ, именно, что градусы убываютъ по мѣрѣ приближенія къ полюсамъ. Именно изъ всего измѣренія, произведеннаго между Парижемъ и самой южной границей Франціи, (6° 18′ 57″), длина градуса найдена равною 57 097 туазамъ, тогда какъ, изъ измѣренія между Парижемъ и Дюнкирхеномъ, она оказывалась равной 56 960 туазамъ.

Это выставляло возраженіе противъ предположенія Ньютона, основаннаго на теоретическихъ данныхъ, такъ какъ длина земной оси, т.-е. діаметра, соединяющаго оба полюса земли, оказалась больше, чѣмъ длина экваторіальнаго діаметра.

Раздались голоса ученыхъ всѣхъ странъ, частью за ньютоновскій, частью за кассиніевскій видъ земли. Чтобы положить конецъ жаркимъ пререканіямъ *между математиками, французское правительство постановило произвести два* градусныхъ измѣренія на значительномъ разстояніи одно отъ другого. Одно рѣшено произвести непосредственно подъ экваторомъ, другое вблизи полярнаго круга.

Вначалѣ было произведено (1735—46 гг.) уже упомянутое выше „перуанское измѣреніе", и единица длины, положенная въ его основаніе „Toise du Pérou" принято съ этого времени за научную единицу всѣми культурными странами. Съ этой памятной экспедиціей навсегда связаны имена геометровъ Бугера и Кондамина, ботаника Жюссьё; къ нимъ же между прочимъ присоединился знаменитый испанскій ученый Де Уллоа.

Въ іюнѣ 1756 г. прибыла въ Ботническій заливъ вторая экспедиція, состоявшая изъ академиковъ Мопертюи, Клеро, Камю, Лемонье и аббата Отье; она въ теченіе того же года измѣрила длину градуса и нашла равною 57 434 туазамъ. Изъ сравненія этого числа съ числомъ, полученнымъ при измѣреніи между Парижемъ и Амьеномъ, равнымъ 57 600 туазамъ, а еще лучше съ числомъ, найденнымъ при перуанскомъ измѣреніи и равнымъ 56 753 туазамъ, явствовало вполнѣ, что земля представляетъ сфероидъ, сплющенный у полюсовъ (иначе говоря, несовершенный шаръ), а слѣдовательно, что измѣреніямъ Кассини нельзя придавать никакого значенія. Позднѣйшія изслѣдованія этого вопроса не оставили болѣе никакихъ сомнѣній въ этой области.

Изъ многихъ градусныхъ измѣреній, послѣдовавшихъ затѣмъ, стоитъ вкратцѣ упомянуть лишь о наиболѣе важныхъ. Таковы: измѣренія Лакайля, произведенныя на южной оконечности Африки, которыми было доказано увеличеніе градусовъ широты по направленію къ полюсамъ, и для южнаго полушарія: большія измѣренія Деламбра, Біо и Араго, исполненныя въ 1792 и положенныя въ основу французской метрической системы; измѣренія Гаусса въ Ганноверѣ; русскія измѣренія Струве, простиравшіяся отъ Измаила на Дунаѣ и до Нордкапа, т.-е на 25 градусовъ широты; большое остъ-индское измѣреніе, сдѣланное въ концѣ пятидесятыхъ годовъ, и средне-европейское, предпринятое въ 1861 г. по проекту генералъ-лейтенанта доктора Ивана Якова Бейера, и участіе въ которомъ принимали государства: Баденъ, Баварія, Бельгія, Данія, Франція, Ганноверъ, Гессенъ-Кассель, Гессенъ-Дармштадтъ, Голландія, Италія, Мекленбургъ, Австрія, Пруссія, Россія, Саксонія, Саксенъ-Кобургъ-Гота, Швеція и Норвегія, Швейцарія и Вюртембергъ. Это градусное измѣреніе обнимало площадь болѣе чѣмъ въ 53 000 квадр. миль, слѣдовательно почти третью часть всей поверхности Европы или 175-ю часть всей поверхности земли, и отличается отъ предыдущихъ тѣмъ, что представляетъ не только измѣреніе градуса въ одномъ и томъ же меридіанѣ (градусъ широты), или въ одной и той же параллели (градусъ долготы), но представляетъ соединеніе обоихъ измѣреній, что ведетъ къ всестороннему опредѣленію соотношеній кривизны земной поверхности значительной части Европы со всѣми особенными мѣстными отклоненіями отъ правильной фигуры и даетъ матеріалъ для изысканія причинъ послѣднихъ.

Метрическая система мѣръ. При градусныхъ измѣреніяхъ 1792 г. была измѣрена дуга въ 12° 22′ 13″, между Дюнкирхеномъ и островомъ Форментера, величина градуса вычислена изъ полнаго разстоянія, равнаго 705 189 туазамъ, и затѣмъ найдена длина дуги меридіана между полюсомъ и экваторомъ. Десятимилліонная доля этого квадранта и должна быть принята за единицу мѣры. Но такъ какъ изъ результатовъ, полученныхъ при градусныхъ измѣреніяхъ, длина метра, т.-е. десятимилліонной доли указаннаго квадранта, будетъ различна, смотря по тому, какое значеніе будетъ придана величинѣ сжатія земли у полюсовъ, то декретомъ отъ 19 фримера восьмого года постановлено считать истиннымъ метромъ разстояніе между концевыми плоскостями металлическаго стержня, который при 0° C равенъ въ свою очередь 443,296 линіямъ „Toise du Pérou", при 16,25° C. Такъ какъ можно было предполагать, что различныя воззрѣнія на истинность найденной величины еще не скоро придутъ къ соглашенію, и такъ какъ не было желанія отодвинуть на неопредѣленное время столь существенный вопросъ установленія единой мѣры, то постановлено принять указанную длину за десятимилліонную долю вѣроятной длины земного квадранта и оставить за ней названіе „метръ".

Подраздѣленіе совершено по десятичной системѣ. Обозначенія заимствованы изъ двухъ мертвыхъ языковъ, греческаго и латинскаго, причемъ исходили изъ той точки зрѣнія, что всѣ теперешніе культурные народы одинаково питали уваженіе къ языкамъ тѣхъ націй, которыми положено начало нашей цивилизаціи. При этомъ слѣдовали правилу выражать кратныя основной единицы греческими, а подраздѣленія ея латинскими словами. Самую единицу длины, какъ уже было упомянуто, назвали метръ (отъ греческаго слова *μέτρον*, мѣра); подраздѣленія: дециметръ = 0,1 м.; см. = 0,01 м.; мм = 0,001 м. Напротивъ, кратныя: декаметръ = 10 м.; гектометръ = 100 м.; километръ = 1000 м.; миріаметръ = 10 000 м. Первыя составлены при помощи латинскихъ словъ decem десять, centum сто и mille тысяча, вторыя при помощи греческихъ соотвѣтствующихъ: *δέκα* десять, *ἑκατόν* сто, *χίλιοι* тысяча и *μύριοι* десять тысячъ.

За единицу вѣса принятъ вѣсъ кубика чистой дестиллированной воды при 4° С, ребро котораго равно 1 дециметру. Ее назвали килограммъ, отъ греческаго слова *γράμμα*; килограммъ соотвѣтствуетъ вѣсу 2,442 ф. и подраздѣляется на 1000 граммовъ, граммъ на 10 дециграммовъ, дециграммъ на 10 сантиграммовъ и сантиграммъ на 10 миллиграммовъ.

Мѣры поверхностей и объемовъ выведены непосредственно изъ мѣръ длины возвышеніемъ ихъ въ квадратъ и кубъ и за единицу первыхъ принята площадь въ 100 кв. метровъ, слѣд. квадратъ со стороною въ 10 метровъ, и назвали аръ (отъ arare, пахать); за единицу же для послѣднихъ принятъ кубъ со стороною въ 1 метръ и названъ стеръ (отъ *στερεός*, твердый). Объемное содержаніе одного кубическаго дециметра получило названіе литръ (отъ *λίτρα* или отъ латинскаго libra, фунтъ, или то, что вѣситъ 1 фунтъ). Ары, стеры и литры такъ же, какъ и метръ, группированы и подраздѣлены на деци-, центи-, дека-, гектостеры, -ары и -литры. Отсюда ясно, что въ метрической системѣ вообще нѣтъ ничего спеціально французскаго, что бы поэтому могло служить препятствіемъ для международнаго употребленія. И, несмотря на то, нашлись возраженія и не то, чтобы несущественныя, противъ ея всеобщаго введенія. Такъ напримѣръ, высказывалось, что для опредѣленія длины метра былъ измѣренъ меридіанъ, проходящій черезъ Парижъ, и длина этого меридіана положена въ основу вычисленія, и что, слѣдовательно, метръ есть мѣра чисто французскаго происхожденія; съ другой стороны обращалось вниманіе на то, что метръ, какъ то явствуетъ изъ новѣйшихъ все болѣе и болѣе совершенныхъ градусныхъ измѣреній, не составляетъ болѣе одной десятимилліонной части длины квадранта, какъ это предполагалось вначалѣ, но что квадрантъ содержитъ 10 000 857,5 м., а, слѣдовательно, мы имѣемъ метръ не настоящій. Оба возраженія одинаково не выдерживаютъ критики. Какой бы большой кругъ шара ни былъ измѣренъ, для опредѣленія размѣровъ является совершенно безразличнымъ, если только избранъ кругъ или вообще часть дуги такого круга, который проходитъ черезъ обѣ конечныя точки одного и того же діаметра или даже какого угодно діаметра. Впрочемъ для сфероида вращенія, какова наша земля, это послѣднее обобщеніе не оправдывается, потому что оно имѣетъ безчисленное множество діаметровъ, различающихся по длинѣ; наиболѣе длинный, соединяющій двѣ противоположныя точки экватора, и наиболѣе короткій, связывающій другъ съ другомъ полюсы; между ними помѣщаются діаметры всевозможныхъ длинъ, заключенныхъ въ этихъ предѣлахъ. Однако всѣ меридіаны равны по длинѣ — Парижскій меридіанъ той же длины, что и Потсдамскій, а слѣдовательно въ этомъ смыслѣ ни одному нельзя отдавать предпочтенія. Притомъ можно сомнѣваться, чтобы, при нахожденіи длины земного квадранта, десятимилліонную долю котораго и представляетъ метръ, были приняты во вниманіе всѣ предыдущія градус-

ныя измѣренія, и чтобы всѣ страны, сдѣлавшія что-либо въ этомъ направленіи для научнаго изслѣдованія земли, могли предъявлять притязанія на честь доставленія матеріала для установленія единицы метрической системы. Что же касается второго упрека, которому зачастую придаютъ особенную важность, именно, что принятый метръ неправиленъ, такъ какъ онъ не составляетъ одной десятимилліонной доли квадранта, то можно согласиться, что измѣренія, дѣлающіяся все болѣе и болѣе изощренными, показываютъ, что прежнія опредѣленія величины земли страдали неточностью; но, пока не остановилось усовершенствованіе измѣрительныхъ приборовъ и методовъ измѣренія, до тѣхъ поръ будутъ оказываться ошибочными измѣренія, въ свое время считавшіяся точными, только эти ошибки будутъ замѣчаться все въ болѣе и болѣе тѣсныхъ предѣлахъ. Окружность земли оказывается, согласно настоящимъ свѣдѣніямъ, больше, чѣмъ предполагалось въ 1792 г., и если бы было установлено, что метръ всегда долженъ представлять десятимилліонную часть квадранта, *иначе говоря, если бы квадрантъ былъ принятъ* за основную единицу, то метръ въ настоящее время былъ бы опять неправиленъ, именно слишкомъ коротокъ. Но такого условія и не положено въ основаніе метрической системы. Въ ней, какъ и во всякой естественной системѣ, обращается вниманіе не на то, чтобы отношеніе ея единицы къ какому-либо неизмѣнному протяженію, встрѣчающемуся въ природѣ, выражалось круглымъ числомъ, въ родѣ 1 : 10 000 000, а только на то, чтобы это отношеніе было извѣстно возможно точно. Наконецъ существовало еще одно возраженіе, именно, что кривая линія (окружность земли) не можетъ служить средствомъ для измѣренія прямолинейныхъ длинъ. Оно опровергается тѣмъ, что всякая кривая линія, какъ скоро ея длина опредѣлена и точно выражена, тѣмъ самымъ уже превращена въ прямую линію, даже болѣе, что познаніе длины меридіана могло быть достигнуто не иначе, какъ измѣреніемъ кривой линіи посредствомъ положенія на нее одного за другимъ прямолинейныхъ отрѣзковъ. Такъ какъ съ научной точки зрѣнія нельзя ничего возразить противъ метрической системы, а практика давно рѣшила, что послѣдняя удовлетворяетъ всѣмъ требованіямъ удобства, то мы должны надѣяться, что съ нею создана міровая единица мѣръ, принятіе которой мало-по-малу будетъ признано за лучшее всѣми государствами.

Обширныя изслѣдованія международнаго бюро, имѣвшія цѣлью изготовленіе и установленіе международной образцовой мѣры и изданіе національныхъ прототиповъ, закончены лишь недавно. И „общей комиссіей по установленію мѣръ и вѣсовъ“, собравшейся въ Парижѣ въ сентябрѣ 1889 г. вмѣсто употреблявшихся до сихъ поръ французскихъ прототиповъ, которые должны теперь сохраняться скорѣе въ качествѣ историческихъ памятниковъ, можетъ-быть, были санкціонированы вполнѣ тождественные съ ними новые международные прототипы, которые и помѣщены въ международномъ бюро. Одновременно съ этимъ было утверждено требуемое число изготовленныхъ для различныхъ государствъ подобнаго же рода копій, такъ называемые національные прототипы, какъ законные замѣстители международныхъ прототиповъ, а также установлены численныя отношенія ихъ къ послѣднимъ.

Сообразно этому впредь названіе метръ присвоено длинѣ, выражающей, при температурѣ тающаго льда, разстояніе между срединами двухъ конечныхъ штриховъ, сдѣланныхъ на стержнѣ изъ иридистой платины, который былъ изготовленъ въ Лондонѣ Джонсономъ, Матескъ и К^{0}, имѣетъ обозначеніе M и котораго X-образное сѣченіе представлено въ натуральную величину на рис. 217. Штрихи находятся на средней плоскости, которая, по теоріи упругости, не подвергается искривленію и обозначена на рисункѣ *линіей a b*. Эталонъ № 18, доставшійся по жребію Германіи отъ общей конференціи к

по нынѣ сохраняющійся въ Имперской нормальной повѣрочной комиссіи въ Берлинѣ, представляетъ платино-иридіевый стержень X-образнаго сѣченія, длина котораго считается между срединами двухъ конечныхъ штриховъ, начерченныхъ въ нейтральной плоскости стержня, и опредѣляется уравненіемъ:

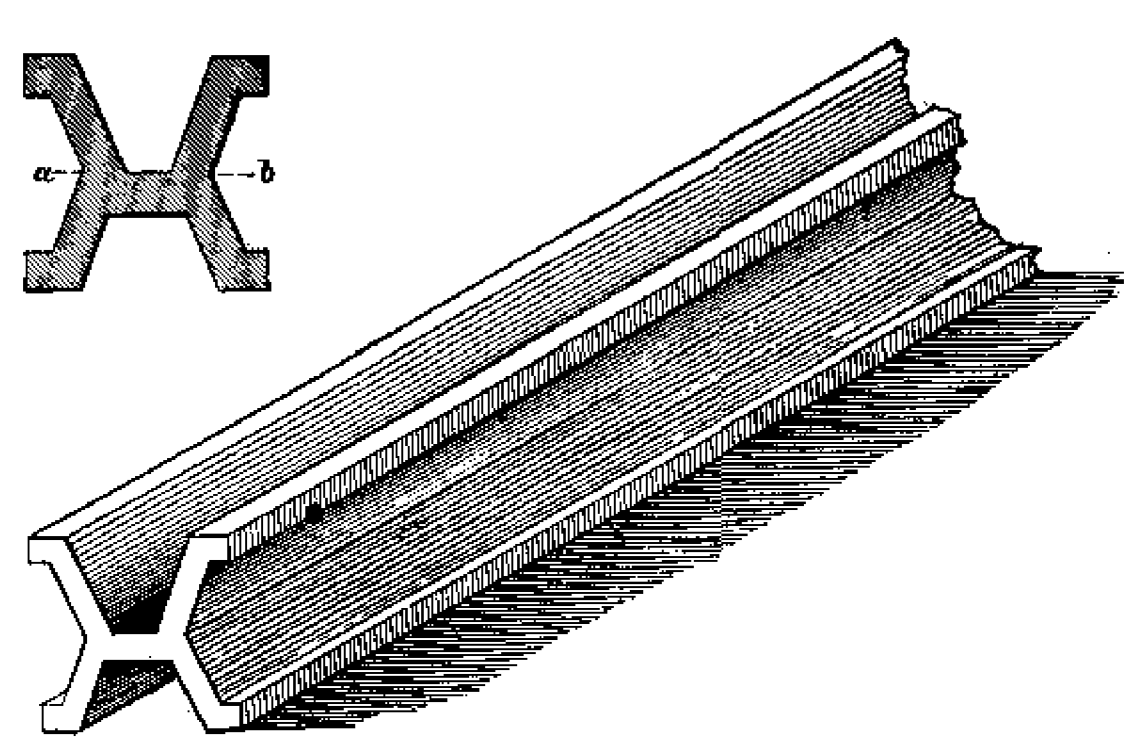
$$\text{Эталонъ № } 18 = 1 \text{ м} - 1{,}0\ \mu + a\ \text{T},$$

гдѣ μ = микронъ, т.-е. тысячная доля миллиметра, T температура по нормальной шкалѣ, установленной для международныхъ измѣреній мѣръ и вѣсовъ (шкала водороднаго термометра), а $a = 0{,}0000086$, коэффиціентъ линейнаго расширенія эталона № 18 между температурами 0^0 и T^0. Рисунки представляютъ германскій эталонъ № 18.

Метръ подраздѣляется по десятичной системѣ:

1 метръ (м.) = 10 дециметровъ (дм.) = 100 сантиметровъ (см.) = 1000 миллиметровъ (мм.) = 1 000 000 микроновъ (μ).

Объ отношеніяхъ метрическихъ мѣръ съ одной стороны, старо-французскихъ и англійскихъ съ другой можно замѣтить слѣдующее:



217 и 218. **Новый германскій платино-иридіевый метръ x-образнаго сѣченія.**

Тогда какъ за нормальную температуру въ метрической системѣ принята температура тающаго льда, таковою для старо-французскихъ мѣръ считается 13^0 R или $16{,}25^0$ C. Чтобы сравнивать обѣ мѣры, нужно принимать въ расчетъ длины первыхъ при 0^0 и вторыхъ при $16{,}25^0$ C. При этомъ имѣютъ мѣста слѣдующія соотношенія между метрическими и старофранцузскими мѣрами:

1 м. = 3 футъ 11,296 линій (старофр.).
или = 443,296 „ „
1 см. = 4,43296 „ „
1 мм. = 0,443296 „ „

и наоборотъ:

1 старофр. футъ = 324,83938 мм.
1 „ дюймъ = 27,06995 „
1 „ линія = 2,25583 „

За нормальную температуру для англійской единицы, ярдъ, считается 62^0 F ($16^2/_3{}^0$ C.). Поэтому, чтобы найти соотношеніе между ярдомъ и метромъ, необходимо сравнить длину перваго при 62^0 F съ длиной послѣдней, взятой при 0^0 C.

Тогда оказывается:

1 м. = 1 ярду 3,37079 дюйм. = 39,37079 англ. дюйм.

и наоборотъ:

1 ярдъ = 914,38348 мм.

На ряду съ ярдомъ въ англійской торговлѣ дозволено пускать въ обращеніе и метръ, съ тѣмъ условіемъ, что сравненіе ярда и метра произво-

дится, безъ принятія во вниманіе нормальной температуры метра, при 62° F. При этомъ предположеніи:

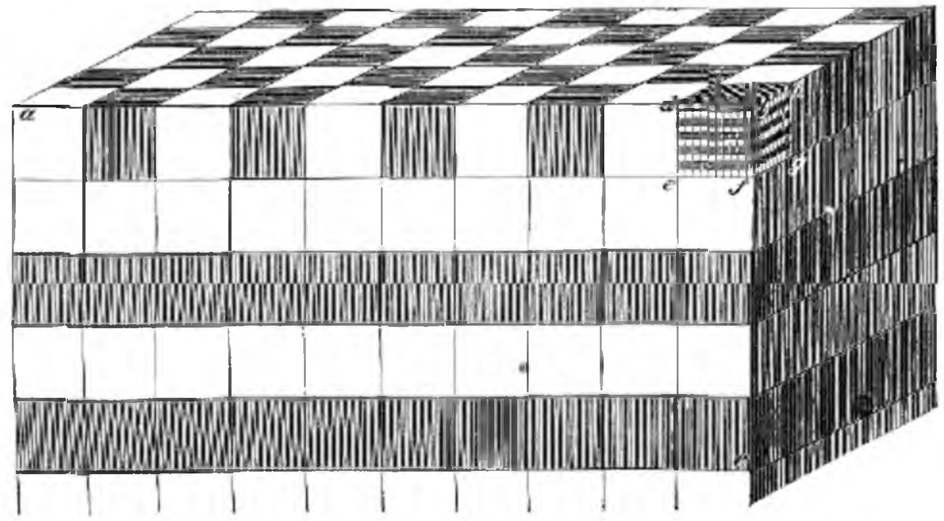
торговый метръ = 39,38203 англ. дюйм.
вообороть, ярдъ = 914,12 мм. торговаго метра.

Что касается сравненія метрической системы съ другими ранѣе употреблявшимися мѣрами, то достаточно указать, что:

1 м. = 3,186 рейнск. = 3,531 саксонскихъ фута,
1 квадр. мет. (кв. м.) = 10,152 рейнск. = 12,469 саксонск. кв. ф.
1 куб. мет. (кб. м.) = 32,346 рейнск = 44,033 саксонск. куб. ф.

Далѣе:

1 аръ (а) = 100 кв. м.
1 гектаръ (га) = 100 аровъ = 2,471 англ. акра = 3,917 прусск. акра (въ 100 квадр. рутъ) = 1,807 сакс. акра (въ 300 кв. рутъ.)



219. Для нагляднаго усвоенія метрической системы мѣръ часть кубическаго дециметра съ его подраздѣленіями.

На рис. 219 представлена схема, наглядно представляющая соотношенія метрической системы. Сторона a b прямоугольнаго тѣла = 1 дм., высота его b c = 5 см., причемъ сторона каждаго отдѣльнаго четыреугольника = 1 см. Каждый такой четыреугольникъ равенъ по площади 1 кв. см., а соотвѣтствующій ему кубикъ, напримѣръ bdefghi = 1 куб. см. Легко признать, что дециметръ раздѣленъ на 10 см., изображенныхъ въ натуральную величину, а также одинъ изъ сантиметровъ раздѣленъ на 10 мм.; наконецъ, что соотвѣтствующій квадратный сантиметръ раздѣлился на 100 кв. мм., а соотвѣтствующій кубическій сантиметръ на 1000 куб. мм.

Единица массы. Матерію или массу какого-либо тѣла мы знаемъ по его вѣсу. Собственно говоря, вѣсъ тѣла, т.-е. сила, съ которой оно притягивается землей, *не представляетъ неизмѣнной величины*, такъ какъ оно зависитъ отъ мѣста на земной поверхности, на которомъ помѣщается тѣло. Единственной неизмѣнной величиной для даннаго тѣла является количество матеріи, въ немъ содержащейся, иначе его масса. И взвѣшиваніе имѣетъ цѣлью собственно опредѣленіе массы. На практикѣ, въ торговлѣ, при взвѣшиваніи какого-либо тѣла, нѣтъ нужды, что вѣсъ, т.-е. сила, съ которою тѣло притягивается землей, или давленіе, оказываемое имъ на подставку, или стремленіе его падать на землю опредѣляется неправильно, напротивъ, важно

опредѣлить количество содержащейся въ тѣлѣ матеріи, а потому мы подъ словами „вѣсъ тѣла“ всегда подразумѣваемъ это количество, причемъ послѣднее измѣряется, при процессѣ взвѣшиванія, черезъ сравненіе его съ нормальными разновѣсками.

Историческое развитіе и обоснованіе единицы вѣса имѣло почти тотъ же ходъ, что и установленіе единицы длины, потому что единица вѣса стоитъ съ послѣдней въ весьма тѣсной связи. Поэтому здѣсь можно ограничиться болѣе краткимъ обзоромъ. Въ основѣ установленія единицы вѣса лежитъ выборъ нѣкотораго вещества и нѣкотораго объема. И, вообще говоря, пришли къ тому, чтобы этимъ веществомъ служила чистая дистиллированная вода при максимумѣ ея плотности, иначе говоря, при 4° С., а за единицу вѣса постановлено признать вѣсъ кубическаго дециметра, т.-е. литра чистой дистиллированной воды максимальной плотности. Эта единица названа килограммъ. Прототипомъ послѣдняго служитъ изготовленный Фортэномъ въ Парижѣ платиновый цилиндръ, который, при 0° и по приведеніи къ безвоздушному пространству, долженъ вѣсить столько, сколько вѣситъ, по приведеніи къ безвоздушному пространству, одинъ литръ чистой дистиллированной воды, при максимумѣ ея плотности. Онъ сохраняется, равно какъ и прототипъ метра, въ Парижѣ, въ „Conservatoire des arts et métiers“, подъ именемъ „Kilogramme des Archives“. И въ какой мѣрѣ „Mètre des Archives“, составляющій, какъ уже было упомянуто выше, строго опредѣленную долю „Toise du Pérou“ и приблизительно соотвѣтствующій одной дисятимилліонной долѣ длины земного квадранта, представляетъ единицу длины природную, естественную, въ строгомъ смыслѣ этого слова, настолько же единица вѣса, именуемая „Kilogramme des Archives“, не имѣетъ права на названіе естественной единицы вѣса. Килограммъ представляетъ лишь приблизительно вѣсъ литра чистой дистиллированной воды при 4° С. Дѣйствительно, опредѣленіе плотности воды связано съ весьма значительными экспериментальными затрудненіями; результаты, полученные самыми компетентными наблюдателями, отличаются другъ отъ друга на величины, значительно превышающія ошибки взвѣшиваній. Поэтому новыя опредѣленія плотности воды, предпринятыя уже въ этихъ видахъ Интернаціональной комиссіей при помощи самыхъ совершенныхъ приспособленій, могутъ привести къ другому результату для вѣса литра чистой дистиллированной воды. Ясно, что единица вѣса, которую представляетъ „Kilogramme des Archives“, должна быть опять-таки разсматриваема, какъ чисто условная единица, съ которой сдѣланы копіи килограмма для употребленія въ различныхъ государствахъ. Уже упомянутымъ закономъ отъ 17 августа 1868 г. утвержденъ, какъ нормальная единица вѣса, килограммъ, хранившійся Прусскимъ королевскимъ правительствомъ, а теперь помѣщенный въ хранилищѣ Имперской нормальной повѣрочной комиссіи.

Онъ обозначенъ № 1 и въ 1860 г. особой комиссіей, назначенной прусскимъ и французскимъ правительствами, сравнивался съ „Kilogramme prototipe des Archives“ и найденъ равнымъ 0,999999842 этого килограмма. Килограммъ подраздѣляется на 1000 граммовъ съ десятичными подраздѣленіями. 1 килограммъ (кгр.) = 1000 граммовъ (гр.) = 10000 дециграммовъ (дгр.) = 100 000 сантиграммовъ (сгр.) = 1 000 000 миллиграммовъ (мгр.)

Въ началѣ 1897 г. германскій союзный совѣтъ придалъ массѣ въ 100 кгр. названіе „доппельцентнеръ“ и обозначеніе „dz“, благодаря чему приведена къ единству эта неизбѣжная въ обращеніи величина, и названіе „метрическій центнеръ“, бывшее въ ходу до сего времени, вскорѣ исчезнетъ изъ употребленія.

По приведеніи въ исполненіе проекта установленія новой международной единицы вѣса, международный комитетъ мѣръ и вѣсовъ, а по его побужденію и первая всеобщая международная комиссія мѣръ и вѣсовъ объявили согласно высказаннымъ выше соображеніямъ:

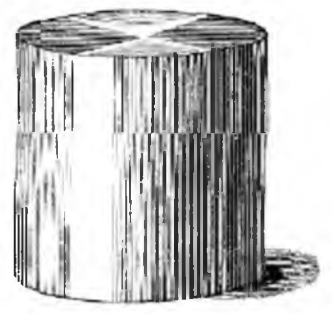
что международный килограммъ отнынѣ считается единицей массъ;

что впредь эталономъ единицы массъ, вмѣсто „Kilogramme des Archives“, считается новый международный прототипъ, килограммъ K, изготовленный Джонсономъ, Маттеп и К⁰ въ Лондонѣ изъ сплава 90% платины и 10% иридія и представляющій цилиндръ, діаметръ основанія котораго равенъ высотѣ и который, при сравненіи съ „Kilogramme des Archives“, произведенномъ въ 1880 г., найденъ былъ въ предѣлахъ ошибокъ наблюденія, тождественно равнымъ послѣднему.

Прототипъ № 22, доставшійся отъ общей конференціи по жребію германскому государству, изготовленный также Джонсономъ, Маттея и К⁰ въ Лондонѣ изъ сплава 90% платины и 10% иридія, представляетъ также цилиндръ съ діаметромъ основанія, равнымъ высотѣ, масса котораго выражается уравненіемъ:

прототипъ № 22 = 1 кгр. + 0,035 мгр. ± 0,003 мгр.

Объемъ прототипа № 22 при 0° С составляетъ 46,403 млл. (млл. = миллилитръ = кубич. сантим.).



220. Новый платиново-иридіевый килограммъ.

Рис. 220 и представляетъ новый германскій килограммъ. 1 кгр. = 2,043 париж. фунта = 2,205 англійскихъ = 2 прусск., саксонскихъ и т. д. (фунт. таможеннаго союза).

Единица времени. Время представляетъ намъ лучшій примѣръ непрерывно и равномѣрно растущей величины, непрерывно-равномѣрнаго измѣненія. Поэтому уже культурные народы древности вывели основную единицу для измѣренія времени изъ наблюденія величественнѣйшаго изъ извѣстныхъ намъ движеній и весьма близко подходящаго къ равномѣрному, именно изъ кажущагося *суточнаго вращенія небеснаго свода, иначе говоря, суточнаго вращенія земли около своей оси.*

Продолжительность истинныхъ солнечныхъ сутокъ, т.-е. время, протекающее между двумя послѣдовательными прохожденіями центра солнечнаго диска черезъ меридіанъ мѣста наблюденія, не представляетъ однако неизмѣнной величины, потому что сама земля движется вокругъ солнца съ неодинаковой скоростью и потому что ось вращенія земли наклонена къ плоскости земной орбиты. Эта величина мѣняется въ теченіе года періодически, достигая максимума во время лѣтняго солнечнаго поворота, т.-е. 17 сентября (н. ст.). Такъ какъ прежнія продолжительности сутокъ возвращаются періодически, то въ основу измѣренія времени положено понятіе о среднихъ солнечныхъ суткахъ, т.-е. о такой продолжительности времени, которая выводится какъ среднее ариѳметическое изъ всѣхъ истинныхъ солнечныхъ сутокъ, бывшихъ въ теченіе одного года. Въ астрономіи кладутъ въ основу измѣренія времени другую неизмѣнную величину, также выведенную изъ наблюденія кажущагося суточнаго вращенія небеснаго свода, именно звѣздныя сутки, иначе промежутокъ времени, протекающій между двумя послѣдовательными прохожденіями черезъ меридіанъ одной и той же неподвижной звѣзды; въ обыкновенной жизни, а также при различныхъ физическихъ опытахъ пользуются средними солнечными сутками. Разницу между средними и истинными солнечными сутками называютъ уравненіемъ времени; ее можно узнать для каждаго дня изъ любого календаря. Затѣмъ сутки раздѣляются, какъ извѣстно, на 24 часа, часъ на 60 минутъ, минута на 60 секундъ. Это подраздѣленіе какъ было, такъ и остается всеобщимъ; только въ эпоху великой французской революціи, когда стремились вполнѣ

систематически провести идею десятичнаго дѣленія, былъ совершенъ неудачный опытъ раздѣлить сутки на 10 часовъ, часъ на 100 минутъ, минуту на 100 секундъ. Теперь для всѣхъ цивилизованныхъ народовъ служитъ неизмѣнной единицей для измѣренія времени секунда средняго солнечнаго времени (представляющая 60-ю долю минуты), или, какъ ее иногда неудачно называютъ, гражданская секунда. Эти три основныхъ единицы пространствъ, массы и времени даютъ основаніе такъ называемой абсолютной системѣ мѣръ. Настоящая система мѣръ цѣнности построена также съ десятичнымъ подраздѣленіемъ, а потому даетъ возможность производить всѣ расчеты удобно и наипростѣйшимъ образомъ.

Идя далѣе, мы неизбѣжно придемъ къ потребности введенія всеобщей системы измѣренія цѣнностей. Но въ виду національной зависти и тщеславія, ей суждено конечно неопредѣленно долгое время оставаться въ области благихъ пожеланій, хотя и признаютъ тѣ выгоды, которыя человѣчество можетъ извлечь изъ введенія однообразной монетной системы.

Приборы и приспособленія, употребляемые для измѣренія трехъ основныхъ единицъ.

Приборы, употребляемые для измѣренія длины.

Длины сравниваются между собою посредствомъ масштабовъ. Различаютъ масштабы съ чертою (étalons à traits), на которыхъ желаемая длина отмѣчается между двумя точками или параллельными линіями, и концевые масштабы (étalons à bouts), у которыхъ она опредѣляется разстояніемъ между срединами конечныхъ плоскостей, обыкновенно изготовляемыхъ изъ драгоцѣннаго камня, рубина, сапфира, алмаза и т. п.

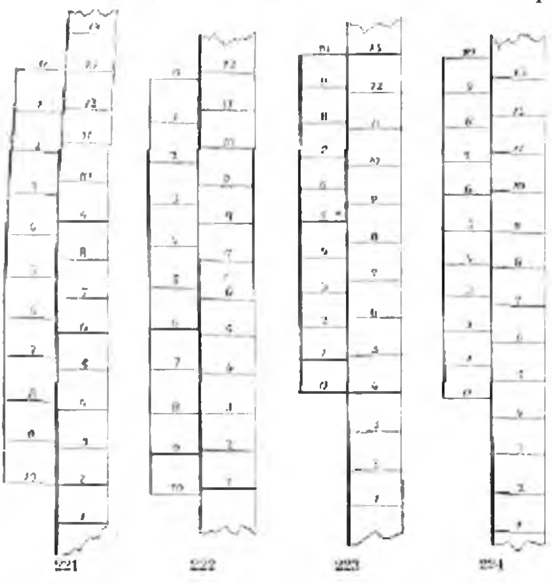
Новые международные и національные платиново-иридіевые масштабы (прототипы) суть масштабы съ чертою. Такъ какъ вещество вообще расширяется при повышеніи температуры, то данная номинальная длина масштаба того или другого рода будетъ истинной его длиной только при совершенно опредѣленной температурѣ. За нормальную температуру въ метрической системѣ принята температура тающаго льда. Такимъ образомъ истинная длина масштаба будетъ только тогда извѣстна, если мы знаемъ его истинную длину при нормальной температурѣ, коэффиціентъ его теплового расширенія и температуру, при которой совершается измѣреніе. Разсмотримъ наиважнѣйшіе приборы, примѣняемые при измѣреніи длинъ. Къ нимъ принадлежитъ прежде всего noніусъ или верньеръ [1], употребляющійся при измѣреніи малыхъ длинъ. Онъ состоитъ изъ оправы, передвигающейся параллельно длинѣ масштаба, и подраздѣляется такъ, что вообще n дѣленій ноніуса составляютъ $n+1$ или $n-1$ дѣленій масштаба.

На рис. 221 и 222 10 дѣленій ноніуса соотвѣтствуютъ 11 дѣленіямъ масштаба; на рис. 223 и 224 10 дѣленій ноніуса соотвѣтствуютъ 9 дѣленіямъ масштаба. Въ первомъ случаѣ каждое дѣленіе ноніуса на $^1/_{10}$ больше, во второмъ на $^1/_{10}$ меньше соотвѣтствующаго дѣленія масштаба. Поэтому, если какое-либо дѣленіе ноніуса совпадаетъ съ дѣленіемъ масштаба, то слѣдующія дѣленія его забѣгаютъ или отстаютъ отъ соотвѣтствующихъ дѣленій масштаба

---

[1] Названіе ноніусъ ведетъ начало неправильнымъ образомъ отъ португальскаго математика Педро Нуннецъ или Нунніусъ (1492—1577), извѣстнаго своими заслугами въ мореплаваніи, потому что его приспособленіе для измѣренія малыхъ дугъ, описанное въ 1542 г., не соотвѣтствуетъ употребляющемуся теперь ноніусу. Названіе же верньеръ происходитъ отъ имени голландца Пьера Верньеръ (1580—1637), описавшаго именно принципъ нынѣ употребляемаго ноніуса въ сочиненіи „La construction, l'usage et les propriétés du cadran de mathématique“ (Брюссель, 1631 г.).

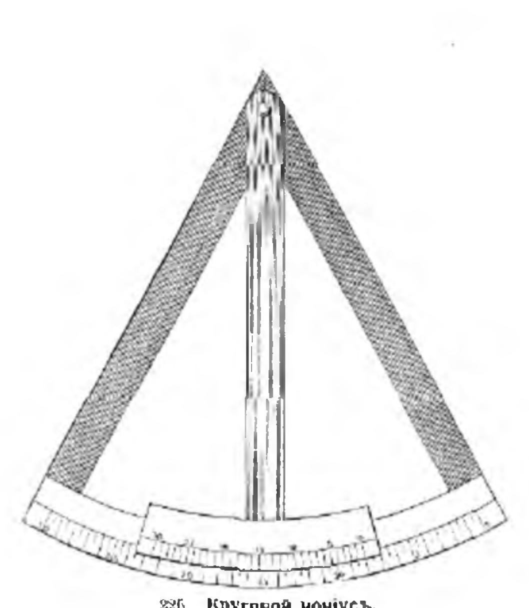
на $^1/_{10}$, $^2/_{10}$ и т. д. и номеръ дѣленія ноніуса, совпадающаго съ дѣленіемъ масштаба, показываетъ, насколько десятыхъ лежитъ нуль ноніуса дальше, чѣмъ послѣднее дѣленіе масштаба. Сообразно этому отсчету по ноніусу (рис. 222), дастъ 11,8, установка же (рис. 224) дастъ отсчетъ 4,5 дѣленій масштаба. Вообще число, обратное числу подраздѣленій ноніуса, т.-е. $^1/_n$, называется „точностью“ ноніуса.



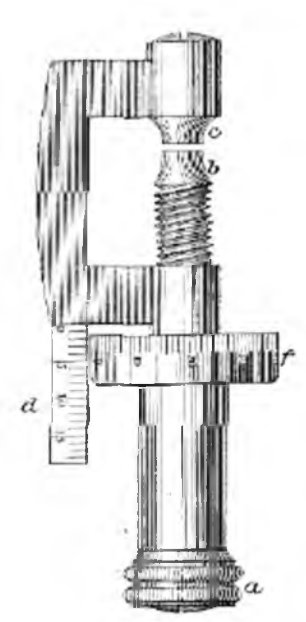
221—224. Ноніусы съ дѣленіями въ $\frac{n}{n+1}$ и $\frac{n}{n-1}$ долг.

Принципъ ноніуса примѣняется также и къ измѣренію малыхъ подраздѣленій дуги круга. Такой ноніусъ состоитъ изъ подвижного сектора, концентрическаго съ соотвѣтствующей частью круга и раздѣленнаго такъ, что n его дѣленій составляютъ n + 1 или n — 1 дѣленій круга (рис. 225).

Вторымъ приспособленіемъ для измѣренія является микрометрическій винтъ. Это есть винтъ, очень тщательно нарѣзанный и снабженный на одномъ изъ концовъ барабаномъ съ дѣленіями; обыкновенно при вращеніи винта передвигается либо подставка подъ неподвижнымъ микроскопомъ, снабженнымъ перекрестными нитями и окулярнымъ микрометромъ, или же такой микроскопъ перемѣщается надъ неподвижной подставкой. При измѣреніи съ помощью микро-

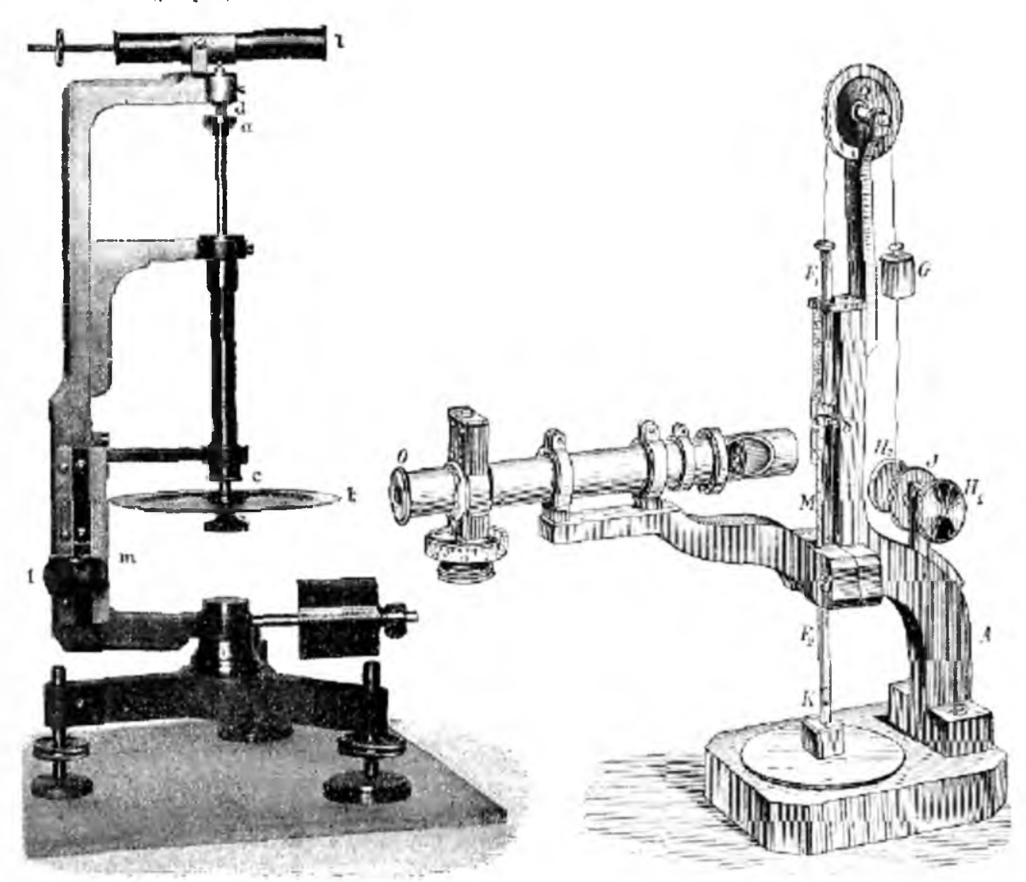



225. Круговой ноніусъ.



226. Микрометръ.

метрическаго винта предполагается, что величина линейнаго перемѣщенія, вызываемаго при его вращеніи, пропорціональна числу оборотовъ и частей послѣднихъ, отсчитываемыхъ на барабанѣ, предположеніе, которое никогда не соблюдается строго и которое поэтому при точныхъ измѣреніяхъ вызываетъ необходимость поправки; послѣдняя дѣлается возможною, если изучить длину винтового хода въ различныхъ частяхъ винта, а также неравномѣрности, встрѣчающіяся въ продолженіе одного и того же оборота и извѣстныя подъ именемъ „періодической ошибки винта".



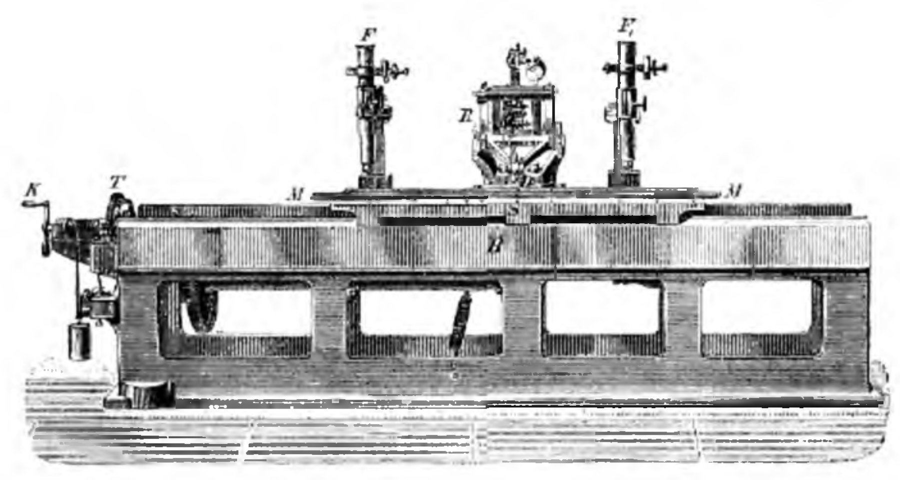
227. Сферометръ съ уровнемъ. 228. Контактный микрометръ Аббе.

Рис. 226 представляетъ микрометръ, употребляющійся для измѣренія толщины пластинокъ, проволокъ и т. д. Вращеніемъ головки винта a плоскость b приближается къ параллельно ей расположенной плоскости c или удаляется отъ послѣдней. Объектъ измѣренія помѣщается между обѣими плоскостями, и винтъ поворачивается до тѣхъ поръ, пока между плоскостями и предметомъ не достигается полное соприкосновеніе. Цѣлые обороты (въ мм.) отсчитываются по шкалѣ d, части ихъ (сотыя доли миллиметра) на барабанѣ f. Болѣе чувствительнымъ аппаратомъ является сферометръ съ уровнемъ (рис. 227). Плоская полированная стальная пластинка a, предназначенная для помѣщенія измѣряемаго предмета, движется при помощи длиннаго, тщательно изготовленнаго, снабженнаго кругомъ съ дѣленіями b микрометреннаго винта c, по вертикальному направленію вдоль масштаба, раздѣленнаго на миллиметры; противъ нея находится другая параллельная

ой пластинка d. Послѣдняя, при помощи штифтика, дѣйствуетъ на весьма чувствительный эксцентрически расположенный уровень, который и долженъ быть приводимъ въ горизонтальное положеніе, какъ при непосредственномъ соприкосновеніи обѣихъ плоскостей, такъ и при помѣщеніи между ними измѣряемаго предмета. Вертикальный масштабъ, отсчетъ на которомъ производится посредствомъ лупы $^1/_3$, раздѣленъ на миллиметры; кругъ съ дѣленіями, раздѣленный на 500 частей, передвигается при одномъ оборотѣ винта на $^1/_2$ мм., такъ какъ каждое дѣленіе круга соотвѣтствуетъ $^1/_{1000}$ мм.

Для измѣренія толщины употребляется также контактный микрометръ Аббе (рис. 228).

Его конструкція основана на томъ принципѣ, что измѣряемая длина составляетъ прямое продолженіе дѣленій, служащихъ масштабомъ, и сравнивается съ дѣленіями непосредственно. Стойка A, привинченная къ нижней доскѣ прибора, несетъ съ одной стороны микроскопъ съ микрометромъ, уста-



229. Дѣлительная машина.

новленный горизонтально, съ другой — приспособленіе J для поднимапія и опусканія вертикально висящаго масштаба M. Тщательно раздѣленная платиновая пластинка подвѣшена между двумя остріями S и составляетъ непосредственное продолженіе двухъ стальныхъ направляющихъ цилиндровъ, верхняго F_1 и нижняго F_2. Послѣдній снабженъ на концѣ контактнымъ штифтомъ K изъ очага со сферически отшлифованной поверхностью. Для поднимапія и опусканія направляющихъ цилиндровъ и масштаба служитъ приспособленіе, состоящее изъ шнура, блока K и двухъ рукоятокъ H_1 и H_2. Направляющіе цилиндръ и масштабъ почти уравновѣшены противовѣсомъ G, такъ что, при осторожномъ опусканіи ихъ, поверхность соприкосновенія налегаетъ на нижнюю пластинку или на измѣряемый предметъ, производя весьма малое и всегда одно и то же давленіе. Нижняя пластинка сдѣлана изъ стекла, тщательно отшлифована плоскою и покоится на трехъ винтахъ въ углубленіи нижней доски. Отсчетъ на масштабѣ, дѣленномъ на 0,2 мм., производится посредствомъ горизонтальнаго микроскопа O; дальнѣйшее подраздѣленіе производится посредствомъ окулярнаго микрометра, который приспособляется такъ, что одному дѣленію масштаба въ 0,2 мм. соотвѣтствуютъ два оборота микрометрическаго винта, а каждое изъ ста дѣленій барабана отвѣчаетъ 1 микрону (μ).

Для нанесенія дѣленій, а также для сравненія масштабовъ служитъ дѣлительная машина; въ простѣйшемъ видѣ она состоитъ изъ микромет-

реннаго винта, посредствомъ котораго передъ неподвижнымъ рѣзцомъ перемѣщается подставка, предназначенная для помѣщенія масштаба, который желаемъ дѣлить или сравнить.

Величина перемѣщенія находится по дѣленіямъ барабана винта и отсчитывается съ помощью микроскоповъ. Рис. 229 представляетъ дѣлительную машину, построенную въ „Société Genevoise" (Женева). Она состоитъ изъ прочной чугунной скамейки *B*, на концахъ которой устроены подшипники, для микрометреннаго винта, снабженнаго барабаномъ съ дѣленіями *T*. При помощи этого винта, вдоль скамейки, на каткахъ, перемѣщается оправа *s*, несущая два неподвижно закрѣпленныхъ микроскопа *F* и F_1 и обхватывающая микрометрическій винтъ посредствомъ двухъ половинокъ составной гайки. Мелкія передвиженія подставки совершаются при помощи вращенія рукоятки винта *K*, грубыя могутъ быть сдѣланы рукой по предварительномъ освобожденіи половинъ гайки.

Для нанесенія дѣленій на масштабѣ *MM* употребляется приспособленіе *R*, которое, перемѣщаясь автоматически поперекъ масштаба, проводитъ стальнымъ рѣзцомъ *D* черточки, длинныя или короткія, смотря по надобности. При нанесеніи дѣленій на стеклѣ, стальной рѣзецъ замѣняется алмазомъ. Рядомъ съ раздѣляемымъ масштабомъ помѣщается нормальный масштабъ, дѣленія котораго приводятся одно за другимъ къ совпаденію съ пересѣченіемъ нитей микроскоповъ; послѣ каждаго такого совпаденія рѣзецъ снова проводится поперекъ масштаба. При отсутствіи нормальнаго масштаба можно употреблять для отмѣриванія равныхъ интерваловъ и одинъ микрометренный винтъ, если только послѣдній точно изслѣдованъ.

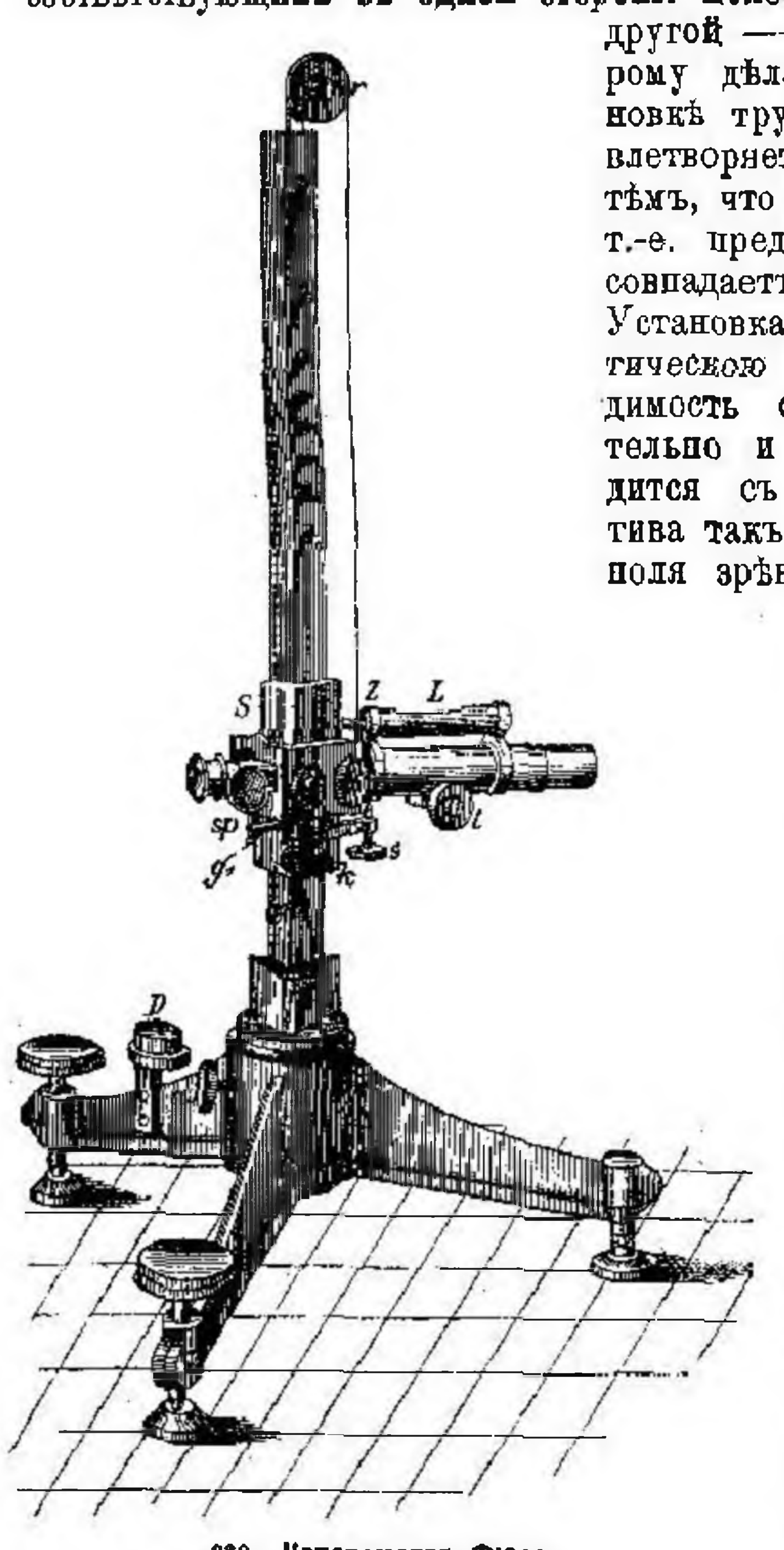
Катетометръ есть вертикальный компараторъ, цѣлью котораго является нахожденіе разницы въ уровняхъ двухъ точекъ, лежащихъ хотя бы и въ различныхъ вертикальныхъ плоскостяхъ. Въ наиболѣе существенныхъ чертахъ устройство его слѣдующее: на треножникѣ, устанавливаемомъ горизонтально при помощи уровня и трехъ винтовъ, укрѣпленъ вертикальный стержень, на который надѣтъ полый цилиндръ, съ тщательно раздѣленнымъ масштабомъ, и могущій вращаться около оси стержня. Вдоль этого цилиндра микрометрически передвигается на салазкахъ приспособленіе, несущее съ одной стороны ноніусъ для отсчета установки салазокъ на масштабѣ, съ другой стороны зрительную трубу, съ перекрестными нитями; послѣднюю можно установить горизонтально, и она поочередно направляется на тѣ точки, разница уровней которыхъ опредѣляется.

На рис. 230 изображенъ простой конструкціи, но весьма цѣлесообразно устроенный катетометръ Фюса.

Въ центральную часть треножника, снабженнаго тремя винтами и круглымъ уровнемъ *D*, входитъ коническая ось треугольной призматической колонны Р такъ, что эта ось можетъ вращаться въ своемъ гнѣздѣ. Вращенію ея можно воспрепятствовать винтомъ а, задерживающимъ ось при помощи нажимного приспособленія. По призматической колоннѣ *P* скользятъ съ легкимъ треніемъ салазки *S*, которыя могутъ быть закрѣплены съ помощью винта *f*. Черезъ блокъ *r*, находящійся на вершинѣ колонны Р, перекинутъ шнуръ, съ одной стороны прикрѣпленный около центра тяжести всей системы, образованной трубою, салазками и т. п., съ другой стороны къ подвижному грузу, висящему внутри полости колонны и уравновѣшивающему систему, благодаря чему особое приспособленіе для точной установки становится излишнимъ. Вдоль ребра призматической колонны, которая видима до самой оси трубы, на протяженіи 1 м. нанесены миллиметровыя дѣленія. Для освѣщенія масштаба служитъ маленькое вращающееся вогнутое зеркало *Sp*, укрѣпленное на подвижныхъ салазкахъ. Прорѣзъ, сдѣланный въ трубкѣ окуляра, позволяетъ свѣту, отраженному отъ зеркала, достигать

до дѣленій. Труба устанавливается горизонтально при помощи уровня L и *тщательно нарѣзаннаго микрометреннаго винта s, на которомъ труба, двигающаяся* около винтовъ съ остріями g и g, лежитъ всей своей тяжестью.

Условіе, которое должно быть выполнено при устройствѣ катетометра, именно, чтобы вертикальное разстояніе двухъ горизонтальныхъ плоскостей, соотвѣтствующихъ съ одной стороны положенію оптической оси трубы, съ другой — положенію указателя, по которому дѣлается отсчетъ, при всякой установкѣ трубы оставалось постояннымъ, удовлетворяется при этой конструкціи уже тѣмъ, что указанное разстояніе всегда = 0, т.-е. предполагается, что указатель всегда совпадаетъ съ оптической осью трубы. Установка указателя на совпаденіе съ оптической осью трубы вызываетъ необходимость совмѣщенія перваго, а слѣдовательно и дѣленія, на которомъ онъ находится съ плоскостью изображенія объектива такъ, чтобы шкала, занимая половину поля зрѣнія, представлялась во время наблюденія въ увеличенномъ видѣ, рядомъ съ наблюдаемымъ предметомъ. Черта указателя, продолженная въ свободной части поля зрѣнія, служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и мѣткой для установки.



280. Катетометръ Фюса.

Указатель отсчета нанесенъ *на круглой пластинкѣ*. Чтобы имѣть возможность опредѣлить положеніе черты указателя, продолжаютъ отъ этой черты вспомогательныя дѣленія по дѣленіямъ масштаба, черезъ 0,1 мм., такъ что при сильномъ увеличеніи окуляра могутъ быть легко отсчитаны каждыя 0,05 мм. Такъ какъ плоскость изображенія объектива неизмѣнно совпадаетъ съ передней плоскостью масштаба, то подвижнымъ дѣлается не окуляръ, а объективъ, который и можетъ при помощи зубчатаго колеса и рейки выдвигаться изъ трубы для установки яснаго изображенія на различныхъ разстояніяхъ.

Кромѣ того для измѣренія и сравненія длинъ служатъ компараторы, которые можно раздѣлить на компараторы съ чувствительными рычагами и компараторы съ микроскопами. Въ первыхъ измѣряемый масштабъ упирается однимъ концомъ въ неподвижный придатокъ, тогда какъ другой конецъ надавливаетъ на чувствительный рычагъ; движеніе послѣдняго наблюдается, при помощи соотвѣтствующаго передающаго приспособленія, въ увеличенномъ видѣ на указателѣ, перемѣщающемся надъ шкалой съ дѣленіями.

Вторые, въ главнѣйшихъ чертахъ, состоятъ изъ линейки, предназначен-

ной для помѣщенія масштаба, надъ которой микрометрически перемѣщаются двое салазокъ съ микроскопами. Компараторы, служащіе для измѣренія горизонтальныхъ длинъ, называютъ также горизонтальными компараторами, въ отличіе отъ катетометровъ, представляющихъ также компараторъ, но служащіе для измѣренія вертикальныхъ протяженій.

Изъ приспособленій этого рода мы опишемъ только одинъ изъ лучшихъ компараторовъ, именно универсальный компараторъ Репсольда, принадлежащій Имперской нормальной повѣрочной комиссіи въ Берлинѣ и употребляющійся для сравненія масштабовъ, какъ концевыхъ, такъ и масштабовъ съ чертою, длиною до 2 м.

Солидный чугунный постаментъ, покоющійся на отдѣльномъ столбѣ въ компараторномъ залѣ, снабженъ двумя горизонтальными рельсами, длиною въ 1,45 м., по которымъ перемѣщается на колесикахъ телѣжка до 2 м. длиною. По этой телѣжкѣ, приводимой въ движеніе съ помощью ручного колеса и особой системы рычаговъ, могутъ скользить двое салазокъ, снабженныхъ микроскопами съ окулярными микрометрами; ихъ можно закрѣпить на телѣжкѣ при помощи винтовъ въ любомъ положеніи. Микроскопы устроены такъ, что фокусъ можетъ быть установленъ съ точностью до 0,5 микрона, а штативы ихъ соединены съ коллиматорами (щелями), укрѣпленными на салазкахъ, и съ уровнями, для горизонтальной установки оси вращенія.

Оправа микроскопа, внутри которой перемѣщается труба послѣдняго, соединена съ штативомъ подвижнымъ образомъ; штативъ же въ свою очередь можетъ вращаться около оси коллиматора и можетъ быть наклоненъ и закрѣпленъ въ любомъ положеніи.

Освѣщеніе отдѣльныхъ частей прибора производится маленькими 4-вольтовыми лампочками изъ матоваго стекла, питаемыми батареей аккумуляторовъ; во избѣжаніе нагрѣванія лампочки зажигаются только въ теченіе короткаго времени отсчета.

На томъ же столбѣ, рядомъ съ главнымъ аппаратомъ, помѣщается дубовый ящикъ, заключающій въ себѣ двустѣнный сосудъ изъ 3-миллиметровой мѣди. Пространство между двойными стѣнками сосуда заполняется жидкостью, которая, для полученія равномѣрной температуры, незадолго до опыта приводится въ быстрое движеніе посредствомъ черпательнаго приспособленія, устроеннаго на одномъ концѣ сосуда. Внутри же сосуда помѣщается ящикъ, сдѣланный изъ 9-миллиметровой мѣди и предназначенный для помѣщенія предмета.

Сравниваемые масштабы помѣщаются на каткахъ, которые могутъ быть перемѣщаемы по чугунной подставкѣ при помощи салазокъ и рельсовъ. При окончательной установкѣ для устраненія вреднаго вліянія прогиба масштабовъ, разстояніе осей катковъ опредѣляется слѣдующимъ образомъ: на катки накладываются маленькіе гусары съ уровнями, и по положенію ихъ разстояніе отсчитывается при помощи масштабовъ, наложенныхъ на указатели гусаровъ.

При помощи особыхъ рукоятокъ можетъ быть произведено небольшое перемѣщеніе рельсовъ; кромѣ того малыя перемѣщенія масштабовъ могутъ быть произведены микрометрически вращеніемъ осей катковъ. При этомъ всѣ рукоятки, потребныя для произведенія движеній внутри ящика, помѣщаются снаружи послѣдняго. Это сдѣлано для того, чтобы избѣжать необходимости проникать внутрь сосуда, который вдобавокъ защищенъ противъ нагрѣванія лампами металлическими пластинками, оставляющими лишь щели для отсчетовъ дѣленій на масштабахъ и термометрахъ, служащихъ для опредѣленія температуры масштаба. Термометры кладутся на рельсы возможно близко отъ масштабовъ, въ числѣ двухъ для каждаго изъ нихъ.

Внѣшній сосудъ накрывается стеклянной пластинкой, отверстія которой соотвѣтствуютъ отверстіямъ вышеупомянутыхъ металлическихъ пластинокъ. Ходъ микрометренныхъ винтовъ микроскопа равенъ 0,2 мм., а барабаны раздѣлены на 100 частей. И такъ какъ объективъ увеличиваетъ въ два раза, то поворотъ барабана винта на каждое дѣленіе вызываетъ перемѣщеніе нитей на такую величину, какой представляется въ плоскости нитей микроскопа длина въ 1 μ, нанесенная на масштабъ. Установка барабана можетъ быть отсчитана съ точностью до 0,1 дѣленія, и если десятую долю дѣленія барабана мы обозначимъ какъ 1 pars, то слѣдовательно перемѣщенію барабана на 1 pars соотвѣтствуетъ разстояніе штриховъ, равное 0,1 μ.

Извѣстностью по приготовленію компараторовъ, катетометровъ, дѣлительныхъ машинъ пользуются мастерскія Репсольда въ Гамбургѣ, Брейтгаупта въ Касселѣ, Рейхеля въ Берлинѣ, Бамберга въ Фриденау (около Берлина), Фюса въ Штеглицѣ (около Берлина), Бруннера въ Парижѣ, Société Genevoise pour la consruction d' instruments de physique въ Женевѣ и т. д.

При помощи названныхъ аппаратовъ измѣряются длины и опредѣляются погрѣшности масштабовъ. Для раздѣленнаго масштаба слѣдуетъ различать полную погрѣшность его при нормальной температурѣ, которая распредѣляется пропорціонально на всю длину, и частныя погрѣшности, которыя, вообще говоря, измѣняются незакономѣрно, зависятъ отъ случайностей, а потому должны быть измѣряемы въ каждомъ интервалѣ отдѣльно; можно пользоваться методомъ Бесселя, въ которомъ опредѣляются сначала погрѣшности главныхъ дѣленій и, по измѣреніи ихъ, приступаютъ къ измѣренію погрѣшностей прочихъ дѣленій, или же болѣе обстоятельнымъ методомъ Ганзена, въ которомъ каждый интервалъ испытуемаго масштаба сравнивается съ каждымъ же интерваломъ нормальнаго масштаба, и такимъ образомъ въ систематической послѣдовательности производится рядъ сравненій различныхъ интерваловъ обоихъ эталоновъ. Въ виду того, что, какъ было замѣчено, длина масштаба сильно зависитъ отъ температуры, и коэффиціентъ теплового расширенія различенъ для различныхъ матеріаловъ, приходится опредѣлять этотъ коэффиціентъ, для чего сравниваютъ испытуемый масштабъ съ нормальнымъ масштабомъ, расширеніе котораго извѣстно, при возможно различныхъ температурахъ. Главною трудностью при этомъ точно такъ же, какъ и при всѣхъ точныхъ измѣреніяхъ, является установленіе постоянной температуры. Съ этою цѣлью залы для наблюденія въ Парижскомъ bureau international, упоминавшемся въ предыдущей главѣ, снабжены точными регуляторами температуры.

Нагрѣтый и охлажденный воздухъ вгоняется въ эти залы изъ машиннаго помѣщенія вентиляторами черезъ особую систему трубъ. Послѣднія имѣютъ двойныя цинковыя стѣнки, промежутокъ между которыми равенъ около 2 дециметровъ, по внѣшнимъ стѣнкамъ ихъ со всѣхъ сторонъ стекаетъ соленая вода, подаваемая насосами изъ машиннаго отдѣленія въ обсерваторію. Такой способъ регулировки, предложенный Раулемъ Пикте и К° (согласно Procès verbaux des séances du bureau international des poids et mésures) даетъ возможность нагрѣть или охладить каждый залъ въ теченіе сравнительно небольшого времени до любой температуры, въ предѣлахъ отъ — 1° до +30° С и поддерживать его при желаемой температурѣ съ колебаніями не болѣе 0,1° С. Подобная же регулировка температуры, только безъ оросительной системы, которая не оказалась особенно удобной, такъ какъ соленая вода разъѣдаетъ стѣны, устроена въ Берлинѣ въ компараторныхъ залахъ имперской нормальной повѣрочной комиссіи. Нѣтъ, разумѣется, необходимости говорить о томъ, что, при болѣе тщательныхъ измѣреніяхъ, должны быть приняты всѣ мѣры къ тому, чтобы избѣжать по возможности вреднаго вліянія теплоты тѣла наблюдателя. Предѣлъ точности, до котораго могутъ быть

произведены въ настоящее время съ находящимися у насъ подъ руками точными инструментами измѣренія длины, достигаетъ 0,1 микрона (μ), т.-е. одной десятитысячной доли миллиметра.

Еще и въ настоящее время приходится встрѣчаться съ взглядомъ, по которому измѣреніе длины съ точностью до 0,001 мм., считается скорѣе особымъ проявленіемъ научной любознательности, а не соотвѣтствуетъ дѣйствительно существующимъ практическимъ потребностямъ. Но противъ этого взгляда можно привести рѣшительныя возраженія. Въ самомъ дѣлѣ, не только учеными или чисто научными учрежденіями, но прямо изъ практической среды, изъ механическихъ мастерскихъ, промышленныхъ заведеній, изъ лабораторій, изготовляющихъ воспламеняющіеся составы и т. д., посылается ежегодно въ соотвѣтствующія учрежденія большое число масштабовъ, съ требованіемъ изслѣдованія послѣднихъ съ точностью до нѣсколькихъ тысячныхъ и даже до одной тысячной миллиметра. Чтобы указать примѣръ изъ практики, гдѣ бы требовалась подобная степень точности, напомнимъ, что вскорѣ послѣ введенія новой германской золотой монеты, оказалась разница въ высотѣ и глубинѣ рельефа 10 и 20-марковиковъ, чеканенныхъ въ различныхъ монетныхъ дворахъ государства, что при обычномъ способѣ подсчета подавало поводъ къ неправильностямъ и ошибкамъ; очевидно, что для точнаго доказательства существованія разницы и для опредѣленія ея величины въ соотвѣтствующихъ точкахъ рельефа отдѣльныхъ монетъ необходимо достигнуть точности измѣренія въ 0,001 мм.

Приборы для измѣренія массы.

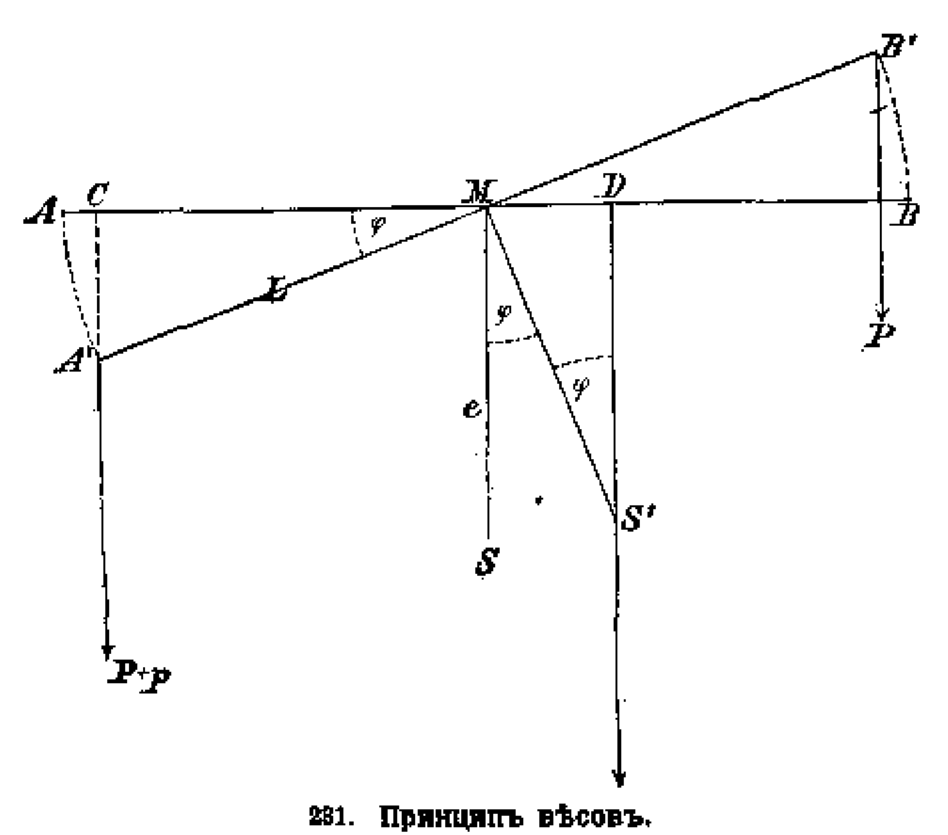
Простые химическіе вѣсы. Методы взвѣшиванія. Вѣсы Штюкрата для взвѣшиванія въ пустотѣ. Опытъ Жолли опредѣленія постоянной тяготѣнія и плотности земли. Опыты Кенига и Рихарца.

Естественныя науки, могущественнѣйшій факторъ развитія человѣчества въ послѣднемъ столѣтіи, обязаны своимъ необычайнымъ успѣхомъ почти исключительно усовершенствованію измѣрительныхъ приборовъ и изощреній методовъ измѣренія. Какъ это ни странно звучитъ, тріумфъ изслѣдованія основывается главнымъ образомъ на умѣломъ употребленіи масштаба, лимба, винта, рычага, маятника и тяжести. Только точныя измѣренія угловъ дали основаніе для удивительныхъ вычисленій астрономовъ; физикъ измѣряетъ *длины свѣтовыхъ волнъ, представляющіяся въ милліонныхъ доляхъ миллиметра.* Какъ химикъ, такъ и физіологъ взвѣшиваетъ воздухъ, который мы вдыхаемъ, взвѣшиваетъ его и потомъ, по выдыханіи, и говоритъ тогда, какое количество его за истекшее время потратилось на поддержаніе жизни. Вѣсы показываютъ, сколько кислорода идетъ на окисленіе стали. Они представляютъ приборъ, усовершенствованіе и цѣлесообразное примѣненіе котораго нанесло смертельный ударъ стариннымъ превратнымъ теоріямъ теплорода и флогистона. Сила тяжести, заставляющая подвижныя тѣла перемѣщаться по направленію къ центру земли, падать, дѣйствуетъ также и на всѣ прочія тѣла, хотя бы послѣднія и не поддавались этому дѣйствію. Камень, уже упавшій съ вершины башни, но изъятъ отъ дѣйствія притяженія, хотя и лежитъ спокойно у ея подножія. Напротивъ, тяжесть дѣйствуетъ на него почти съ прежнею силою, и это обнаруживается давленіемъ камня на опору, препятствующую его дальнѣйшему движенію. Величину этого давленія тѣла на опору мы называемъ вѣсомъ тѣла, который и будетъ различенъ для различныхъ тѣлъ.

Уже въ глубокой древности смотрѣли на вѣсъ тѣла, какъ на мѣрило для сужденія о количествѣ вещества, въ тѣлѣ заключеннаго, и изобрѣли приборы и способы опредѣленія вѣса. Для этихъ опредѣленій въ настоящее время и служатъ вѣсы. Весьма трудно отвѣтить на вопросъ, кто былъ

изобрѣтателемъ вѣсовъ. Во всей своей первоначальной простотѣ они настолько уже отвѣчаютъ потребностямъ, что примѣненіе ихъ принципа скорѣе можно разсматривать, какъ результатъ того состоянія, въ которомъ находилось научное образованіе, чѣмъ какъ предшествовавшую идею единичнаго лица.

Въ виду того, что торговля всякаго рода предполагаетъ необходимымъ образомъ отвѣшиваніе и отмѣриваніе, то всѣми источниками изобрѣтеніе вѣсовъ и разновѣсокъ приписывается старѣйшему торговому народу, финикіянамъ; приписывается это впрочемъ безъ всякихъ иныхъ основаній по указаннымъ, чисто внѣшнимъ, причинамъ, состоящимъ въ широкихъ торговыхъ сношеніяхъ первыхъ купцовъ-путешественниковъ. Изъ библіи извѣстно, что уже Авраамъ (1 Моис. 23, 16) отвѣшивалъ серебро и что Моисей зналъ уже много родовъ мѣръ и вѣсовъ. Въ книгѣ Іова встрѣчаются слова: чашки вѣсовъ, а въ Иліадѣ есть не мало мѣстъ, показывающихъ, что во времена Гомера вѣсы имѣли уже всеобщее распространеніе.



231. Принципъ вѣсовъ.

Вѣсы были устроены съ самаго начала на основаніи тѣхъ самыхъ основныхъ принциповъ, которые остаются и въ настоящее время. Оставивъ въ сторонѣ особые вѣсы (ареометры), основанные на законахъ гидростатики и употребляющіеся теперь преимущественно для опредѣленія удѣльнаго вѣса, мы должны различать два главныхъ рода вѣсовъ, смотря по тому, основаны ли послѣдніе на законахъ упругости или на законахъ рычага.

Въ пружинныхъ вѣсахъ, основанныхъ на законахъ упругости, вѣсъ опредѣляется по величинѣ произведеннаго тѣломъ сжатія, или растяженія спиральной пружины, или по величинѣ сгибанія упругаго стержня. Пружинными вѣсами нельзя достигнуть большой точности, такъ какъ упругія свойства металлическихъ пружинъ весьма сильно измѣняются отъ атмосферныхъ вліяній и еще въ большей мѣрѣ отъ температуры. Вѣсы, основанные на законахъ рычага, раздѣляютъ на равноплечные и неравноплечные. Въ другомъ мѣстѣ уже были разсмотрѣны различные виды пружинныхъ, а также рычажныхъ вѣсовъ, насколько тѣ и другіе находятъ себѣ примѣненіе въ техникѣ и отвѣчаютъ требованіямъ малой точности, достаточной для торговыхъ сношеній. Здѣсь же будетъ имѣть мѣсто рѣчь только относительно рычажныхъ дву- и притомъ равноплечныхъ или, какъ ихъ кратко называютъ „химическихъ вѣсовъ", служащихъ для болѣе точныхъ взвѣшиваній.

Хорошіе химическіе вѣсы состоятъ главнымъ образомъ изъ трехъ частей изъ твердой плоской подставки для оси вращенія коромысла вѣсовъ, изъ самаго коромысла и чашекъ. Наиважнѣйшею частью является коромысло, приготовленіе котораго требуетъ особеннаго старанія. Оно представляетъ равноплечій рычагъ, лежащій посредствомъ укрѣпленнаго въ его срединѣ призматическаго острія на плоской подставкѣ и снабженный на обоихъ концахъ двумя другими остріями, назначенными для поддержки осо-

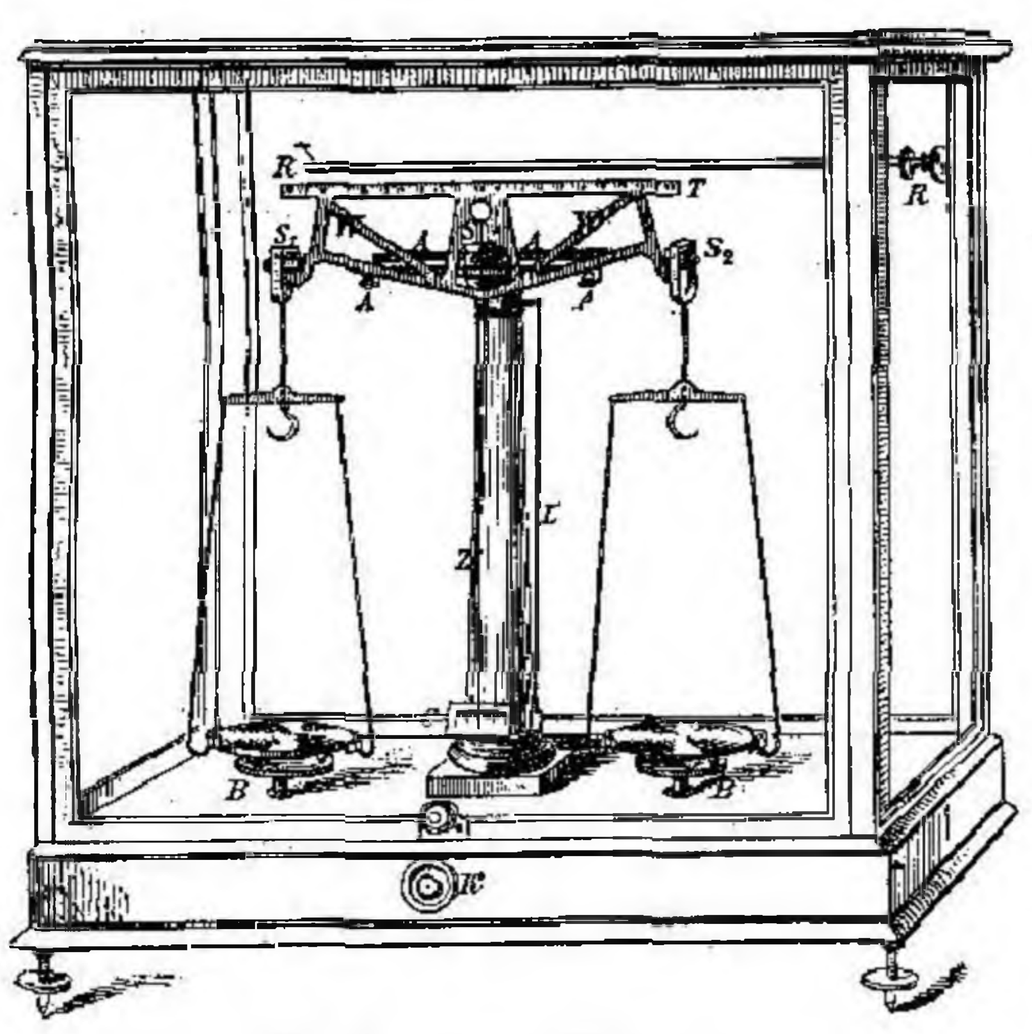
быхъ подвѣсовъ для чашекъ, а съ ними и грузовъ. Теорія вѣсовъ требуетъ, чтобы оба боковыя острія лежали въ одной и той же плоскости съ среднимъ остріемъ и были ему параллельны. Поэтому коромысло точныхъ вѣсовъ должно быть снабжено регулирующимъ приспособленіемъ, дающимъ возможность сдѣлать боковыя острія параллельными среднему и привести ихъ всѣ въ одну горизонтальную плоскость. Принимая, что оба плеча коромысла симметричны, одинаковой длины и одинаковаго вѣса [допущеніе, никогда точно не соблюдаемое и требующее поэтому особенныхъ методовъ взвѣшиванія (см. стр. 248), для устраненія ошибки, происходящей отъ неравенства длины плечъ коромысла], иначе говоря, что оба боковыя острія лежатъ въ одной плоскости съ среднимъ, параллельнымъ ему и на одинаковомъ разстояніи, принимая даже, что подвѣсы и чашки одинаковаго вѣса, и что на чашкахъ наложены абсолютно равные грузы, мы получимъ равновѣсіе коромысла при горизонтальномъ положеніи, и это равновѣсіе будетъ устойчивое, если центръ тяжести коромысла помѣщается подъ среднимъ остріемъ на одной съ нимъ вертикали.

Ничтожная перегрузка P, помѣщенная на одну изъ чашекъ, вызоветъ наклонъ коромысла на нѣкоторый уголъ φ (рис. 231). Этотъ уголъ, обыкновенно замѣчаемый по отклоненію стрѣлки, укрѣпленной въ срединѣ коромысла и движущейся надъ шкалой, служитъ не только мѣрой величины перегрузки p, но также и мѣрою чувствительности вѣсовъ. Подъ чувствительностью вѣсовъ въ практической физикѣ понимается отклоненіе, которое при нѣкоторой опредѣленной (съ обоихъ концовъ одинаковой) нагрузкѣ вызывается 1 мгр. перегрузки. Чувствительность, какъ указываетъ вычисленіе, которое здѣсь не мѣсто разсматривать, прямо пропорціональна длинѣ коромысла и обратно пропорціональна произведенію изъ его вѣса на разстояніе центра тяжести отъ точки опоры.

Въ виду того, что чувствительность вѣсовъ возрастаетъ съ длиною плечъ, въ прежнее время стремились устроивать послѣднія возможно длиннѣе; такъ какъ, съ другой стороны, чувствительность уменьшается съ увеличеніемъ вѣса коромысла, то въ настоящее время, по иниціативѣ Бунге въ Гамбургѣ, примѣняютъ болѣе короткія коромысла, а именно устроиваютъ часть, служащую для навѣшиванія подвѣсовъ, треугольной формы, которая, при употребленіи вязкой алюминіевой бронзы, близко подходитъ къ наивыгоднѣйшей формѣ, вычисляемой теоретически (наименьшаго вѣса при наибольшей сопротивляемости); благодаря этому достигается весьма малый прогибъ коромысла и сравнительно большая чувствительность, даже при большой нагрузкѣ. У данныхъ вѣсовъ, въ виду неизмѣнности длинъ и вѣса коромысла, чувствительность можно повысить, измѣняя разстояніе центра тяжести отъ средняго острія, что обыкновенно дѣлается съ помощью подвижнаго груза, помѣщающагося надъ стрѣлкою. Но значительная чувствительность не составляетъ еще, какъ это обыкновенно принимаютъ, достоинства вѣсовъ; доброкачественность послѣднихъ измѣряется степенью согласія результатовъ, полученныхъ при многократныхъ независимыхъ одно отъ другого взвѣшиваніяхъ.

Рис. 232 представляетъ простые химическіе вѣсы съ ящикомъ. Прежде всего, посредствомъ отвѣса и трехъ винтовъ вѣсы устанавливаются горизонтально. Коромысло W лежитъ своей средней стальной призмой S на плоской агатовой пластинкѣ, тогда какъ агатовыя пластинки подвѣсовъ лежатъ на крайнихъ призмахъ S_1 и S_2. Коромысло снабжено линейкой T съ дѣленіями, на которую сажаются маленькіе крючкообразные разновѣсы (гусары); при помощи особаго приспособленія R, идущаго черезъ весь ящикъ, они могутъ передвигаться по линейкѣ и употребляются для окончательнаго уравновѣшиванія или для опредѣленія чувствительности.

Всѣ манипуляціи съ вѣсами должны продѣлываться при арретированномъ коромыслѣ. Во время самого взвѣшиванія ящикъ вѣсовъ долженъ быть закрытъ, во избѣжаніе движенія воздуха и измѣненія температуры. Самое арретированіе и освобожденіе коромысла слѣдуетъ производить съ большою осторожностью, чтобы предохранить среднее остріе отъ толчковъ и другихъ механическихъ вліяній. Рисунокъ представляетъ коромысло арретированнымъ посредствомъ подхвата AA, иначе говоря, средняя призма коромысла поднята надъ агатовой пластинкой. Подобнымъ же образомъ вѣсовыя чашки арретированы устроивающимися для нихъ подставками B. Чтобы привести вѣсы въ дѣйствіе, отпускаютъ арретирующія приспособленія коромысла и чашекъ, вращая влѣво головку K. Тогда коромысло ложится средней призмой на агатовую пластинку и совершаетъ рядъ маятникообразныхъ колебаній, которыя отмѣчаются по стрѣлкѣ Z на шкалѣ C. Положеніе равновѣсія вычисляютъ изъ 3 непосредственно слѣдующихъ одинъ за другимъ отклоненій стрѣлки, причемъ изъ 2 отклоненій въ одну и ту же сторону составляютъ ариѳметическое среднее, а затѣмъ выводятъ новое среднее, изъ этого уже полученнаго средняго и изъ 3-го отклоненія.



232. Простые химическіе вѣсы.

Методы взвѣшиванія. Для устраненія источниковъ ошибокъ, могущихъ возникнуть отъ неравенства плечъ коромысла, обыкновенно примѣняютъ одинъ изъ двухъ методовъ взвѣшиванія: методъ тары или методъ перекладыванія.

Принципъ перваго метода заключается въ томъ, что взвѣшиваемый грузъ P *сначала уравновѣшиваютъ какой-либо тарой, а затѣмъ, не мѣняя* этой тары, замѣняютъ P разновѣсками N. Такимъ образомъ оба вѣса P и N сравниваются съ одной и той же третьей величиной, тарой, а слѣдовательно и между собой. Именно, если первое взвѣшиваніе даетъ тара $= P + \alpha$, а второе тара $= N + \beta$, причемъ α и β представляютъ положенія равновѣсія, которыя, при опредѣленіи чувствительности, могутъ быть переведены на миллиграммы, то изъ этихъ уравненій опредѣляется: $P = N + \beta - \alpha$.

Методъ *перекладыванія* или *двойного взвѣшиванія* (методъ Гаусса), заключается въ томъ, что взвѣшиваемое тѣло P кладется на одну изъ чашекъ, а разновѣсы на другую, пока почти не достигается положеніе равновѣсія; послѣ того грузы P и N обмѣниваются мѣстами. И если изъ двухъ взвѣшиваній слѣдуетъ, что: $P = N + \alpha$ и $P = N + \beta$, то комбинація ихъ даетъ: $P = N + \frac{\alpha + \beta}{2}$.

Уже было упомянуто, что тепло, исходящее отъ тѣла наблюдателя, обусловливаетъ замѣтную ошибку при точныхъ взвѣшиваніяхъ, и что поэтому слѣдуетъ стремиться по возможности уменьшить это вліяніе. Оттого за послѣднее время были построены и получили большое распространеніе вѣсы, въ которыхъ, ради устраненія тепловыхъ и воздушныхъ теченій, происходящихъ внутри ящика при его открываніи отъ дѣйствія тепла тѣла наблюдателя, всѣ операціи, встрѣчающіяся при взвѣшиваніи, могутъ быть производимы съ произвольно большого разстоянія, причемъ не встрѣчается необходимости открывать ящикъ, а колебанія вѣсовъ наблюдаются посредствомъ трубы и шкалы.

Важнѣйшій и интереснѣйшій шагъ въ области точнаго взвѣшиванія сдѣланъ за послѣднее время устройствомъ вѣсовъ для взвѣшиванія въ пустотѣ, при помощи которыхъ взвѣшиваніе можетъ быть произведено не только въ изолированномъ, но и въ разрѣженномъ, даже почти вполнѣ безвоздушномъ пространствѣ. Именно, если нужно сравнить между собою два тѣла весьма различнаго удѣльнаго вѣса, напр., килограммъ изъ платины и килограммъ изъ горнаго хрусталя, то послѣдній, на основаніи закона Архимеда (тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость), одинаково справедливаго какъ для капельныхъ, такъ и для газообразныхъ жидкостей, испытываетъ большую потерю въ воздухѣ, соотвѣтственно разницѣ объемовъ обоихъ тѣлъ. Такъ что, если оба тѣла вѣсятъ въ пустотѣ одно и то же, то въ воздухѣ килограммъ изъ горнаго хрусталя покажется настолько легче, сколько вѣситъ количество воздуха, по объему равное разности объемовъ обоихъ взвѣшиваемыхъ тѣлъ. Если объемъ килограмма изъ платины (уд. в. 21,5) равенъ 46,5 куб. сантим., а объемъ килограмма изъ горнаго хрусталя (уд. в. 2,65) равенъ 377,4 куб. сантим., то, такъ какъ 1 куб. сантим. воздуха при среднихъ метеорологическихъ условіяхъ вѣситъ 1,2 мгр., второй килограммъ будетъ казаться въ воздухѣ легче перваго на

$$(377{,}4 - 46{,}5)\ 1{,}2 \text{ мгр.} = 397{,}08 \text{ мгр.}$$

Поэтому, при точныхъ взвѣшиваніяхъ, вѣсъ воздуха всегда слѣдуетъ принимать во вниманіе. Изъ приведеннаго примѣра ясно, что это не есть только неизбѣжное требованіе строго научныхъ взвѣшиваній, но и практическая необходимость. Потому что, если бы въ монетной мастерской пожелали отвѣшивать куски золота, употребляя разновѣсъ изъ мѣди или даже изъ горнаго хрусталя, то надобность принятія во вниманіе воздуха явилась бы въ гораздо большей степени изъ чисто практическихъ, чѣмъ изъ чисто научныхъ соображеній. Въ наукѣ подъ вѣсомъ тѣла всегда подразумѣвается вѣсъ его, приведенный къ безвоздушному пространству; онъ обозначается обыкновенно именемъ абсолютнаго вѣса. Но вычисленіе вѣса воздуха при данныхъ условіяхъ страдаетъ неточностью, вслѣдствіе трудности опредѣленія температуры и содержанія паровъ, а потому, чтобы сдѣлать это опредѣленіе независимымъ, теперь и примѣняютъ взвѣшиваніе въ пустотѣ. Первые такіе вѣсы были приготовлены Бунге въ Гамбургѣ для имперской нормальной повѣрочной комиссіи въ Берлинѣ и для международной метрической коммиссіи въ Парижѣ. Въ первомъ учрежденіи имѣются еще вторые такіе же вѣсы, приготовленные механикомъ П. Штюкратомъ въ Фриденау (около Берлина), которые мы сейчасъ и опишемъ.

Вѣсы утверждены на мѣдной тарелкѣ *A* (рис. 233), на которой, кромѣ того, помѣщается закрытый стеклянный цилиндръ, имѣющій вторую мѣдную тарелку *B*, которая, по наложеніи на первую, представляетъ непроницаемое для воздуха соединеніе. Цилиндръ съ тарелкой *B* не помѣщенъ на рис. Сквозь тарелку A черезъ буксы съ набивкой, непроницаемыя для воздуха, проходитъ внутрь извѣстное число подвижныхъ стержней, которые могутъ

быть приводимы въ движеніе наблюдателемъ, стоящимъ въ отдаленіи. При помощи этихъ стержней, соединенныхъ внутри цилиндра съ соотвѣтствующими механизмами, можно произвести слѣдующія манипуляціи: 1) можно арретировать коромысло вѣсовъ W; 2) можно поднять или опустить держатель T и тѣмъ самымъ положить сравниваемые грузы на чашки или же поднять съ послѣднихъ ранѣе положенные грузы; 3) посредствомъ зубчатой передачи можно повернуть держатель на 180°; 4) можно подвѣсить на каждое плечо или снять съ него столько мелкихъ разновѣсокъ, сколько требуется для нагруженія и уравновѣшиванія обѣихъ чашекъ.

233. Новые вѣсы съ безвоздушнымъ пространствомъ, приготовленные Штюкратомъ и находящіеся въ имперск. норм. пов. ком.

Непроницаемость для воздуха мѣстъ выхода подвижныхъ стержней достигается у Штюкрата тѣмъ, что у стержней, пришлифованныхъ къ буксамъ, есть проволочныя спирали, на которыхъ натянуты каучуковыя трубки; послѣднія съ одного конца надѣты на буксу, съ другого на стержень такъ, что спираль заключается внутри трубки. Поворачивая стержень, мы закручиваемъ каучукъ, причемъ сочлененіе остается непроницаемымъ для воздуха. Продолженія подвижныхъ стержней, идущія къ столу наблюдателя, могутъ быть выдвинуты простымъ вытягиваніемъ. Зубчатый же стержень соединяется съ его продолженіемъ при помощи вынимающагося клина. Колебанія коромысла отсчитываются также отъ стола наблюдателя, причемъ въ металлическомъ зеркалѣ, укрѣпленномъ на коромыслѣ, наблюдается, при помощи зрительной трубы, изображеніе освѣщенной шкалы, стоящей въ нѣкоторомъ отдаленіи. Коромысло устроено совершенно симметрично и сдѣлано изъ одного куска. Оно составлено изъ средняго большаго и двухъ видимыхъ меньшихъ полыхъ цилиндровъ, связанныхъ раскосами. Въ этихъ трехъ цилиндрахъ лежатъ призмы въ особыхъ вращающихся трубкахъ, такъ что могутъ быть регулируемы.

Подвѣсы чашекъ состоятъ изъ четырехугольныхъ проволочныхъ дужекъ, снабженныхъ вверху агатовыми пластинками для надѣванія на крайнія призмы коромысла, а снизу вертикальными стальными остріями для подвѣшиванія рамы, на которую и помѣщаются тарелки держателей разновѣсовъ. При помѣщеніи взвѣшиваемыхъ грузовъ на чашки вѣсовъ, первые необходимо цен-

трировать, во избѣжаніе слишкомъ продолжительнаго колебанія чашекъ; чтобы достигнуть этого въ вѣсахъ новѣйшихъ конструкцій, внутрь полаго конуса, находящагося на нижней поверхности держателя грузовъ, опускаются два маленькихъ острія, перемѣщающіяся при помощи главнаго стержня наружу, вверхъ и внизъ. Если чашки, вслѣдствіе эксцентричнаго положенія грузовъ, имѣютъ стремленіе становиться нѣсколько наклонно, то соотвѣтствующій держатель можетъ, при подниманіи арретира, медленно скользить своимъ полымъ конусомъ вдоль острія, не приходя въ колебанія. Для того, чтобы сдѣлать возможно мягкимъ соприкосновеніе острія съ плоскостями, въ соотвѣтствующей части вращенія арретировочнаго вала дѣйствуетъ добавочное приспособленіе, состоящее изъ зубчатаго колеса и безконечнаго винта. Разновѣсы состоятъ изъ образцовъ вѣсомъ въ $1^1/_3$, 1, 3, 9, 27 и 81 мгр.; $^1/_3$ составляется разностью $1^1/_3$—1 мгр.

При еще болѣе точныхъ взвѣшиваніяхъ употребляются слѣдующіе приборы для нахожденія вѣса воздуха, внутри стекляннаго колпака, а именно: на высотѣ взвѣшиваемыхъ тѣлъ, термометръ и гигрометръ, барометръ въ пространствѣ, гдѣ производится наблюденіе, а при взвѣшиваніяхъ въ пустотѣ манометры, соединенные съ цилиндромъ.

Предѣлъ точности, до котораго достигаемъ мы при опредѣленіи единицы вѣса, т.-е. килограмма, съ помощью точныхъ вѣсовъ наилучшаго качества, составляетъ 0,005 мгр. Точность при опредѣленіи болѣе мелкихъ единицъ естественно гораздо болѣе значительна. При помощи точныхъ вѣсовъ, построенныхъ Штюкратомъ и находящихся въ нормальной повѣрочной комиссіи, которые предназначены для взвѣшиванія весьма мелкихъ грузовъ, у которыхъ вѣсъ коромысла, подвѣсовъ и чашекъ (все это сдѣлано изъ алюминія) составляетъ всего 5 гр., причемъ призмы замѣнены двумя агатовыми остріями, можно сравнивать вѣса не больше 1 гр., съ точностью до 0,0001 мгр.

Необычайная высокая степень совершенства, которой достигла конструкція вѣсовъ за послѣднее время, побудила профессора Жолли въ Мюнхенѣ произвести при помощи вѣсовъ весьма интересный опытъ, именно измѣрить притягательное дѣйствіе матеріи.

Какъ извѣстно, сила тяжести, а слѣдовательно и давленіе тѣла на опору измѣняется по закону тяготѣнія, найденному Ньютономъ, т.-е. обратно пропорціонально квадрату разстоянія отъ центра земли. Дѣйствительно, 2 клгр., точно равные по вѣсу тогда, когда чашки были на одинаковой высотѣ, при помѣщеніи на чашкахъ вѣсовъ, по высотѣ отличавшихся на 5,29 м., показали значительную разницу. Килограммъ, болѣе удаленный, показалъ убыль въ вѣсѣ, равную 1,5 мгр., т.-е. величину, близко согласную съ тою, которая вычисляется по законамъ тяготѣнія. Затѣмъ, когда подъ одинъ изъ килограммовъ былъ подведенъ тяжелый (въ нѣсколько центнеровъ вѣсомъ) свинцовый шаръ, то обнаружилось и притягательное дѣйствіе этого шара, причемъ килограммъ, помѣщенный надъ нимъ, сдѣлался тяжелѣе на замѣтную величину. Такимъ способомъ, при помощи химическихъ вѣсовъ, можно непосредственно опредѣлить плотность земли.

Послѣ первой попытки Жолли опыты опредѣленія коэффиціента тяготѣнія и средней плотности земли производили за послѣднее время и по болѣе усовершенствованному способу А. Кёнигъ и Рихарцъ, къ которымъ впослѣдствіи присоединился также д-ръ Кригаръ. Эти опыты были произведены за счетъ королевской академіи наукъ и съ пособіемъ отъ прусскаго королевскаго военнаго министерства, которое доставило необходимое количество свинца и разрѣшило произвести наблюденія въ казематахъ крѣпости Шпандау. Наблюденія начаты въ 1884 г. и окончены въ 1896 г. Употребленный для нихъ измѣрительный приборъ, названный наблюдателями „двойными вѣсами", представляетъ обыкновенные вѣсы, къ обѣимъ чашкамъ которыхъ подвѣшены

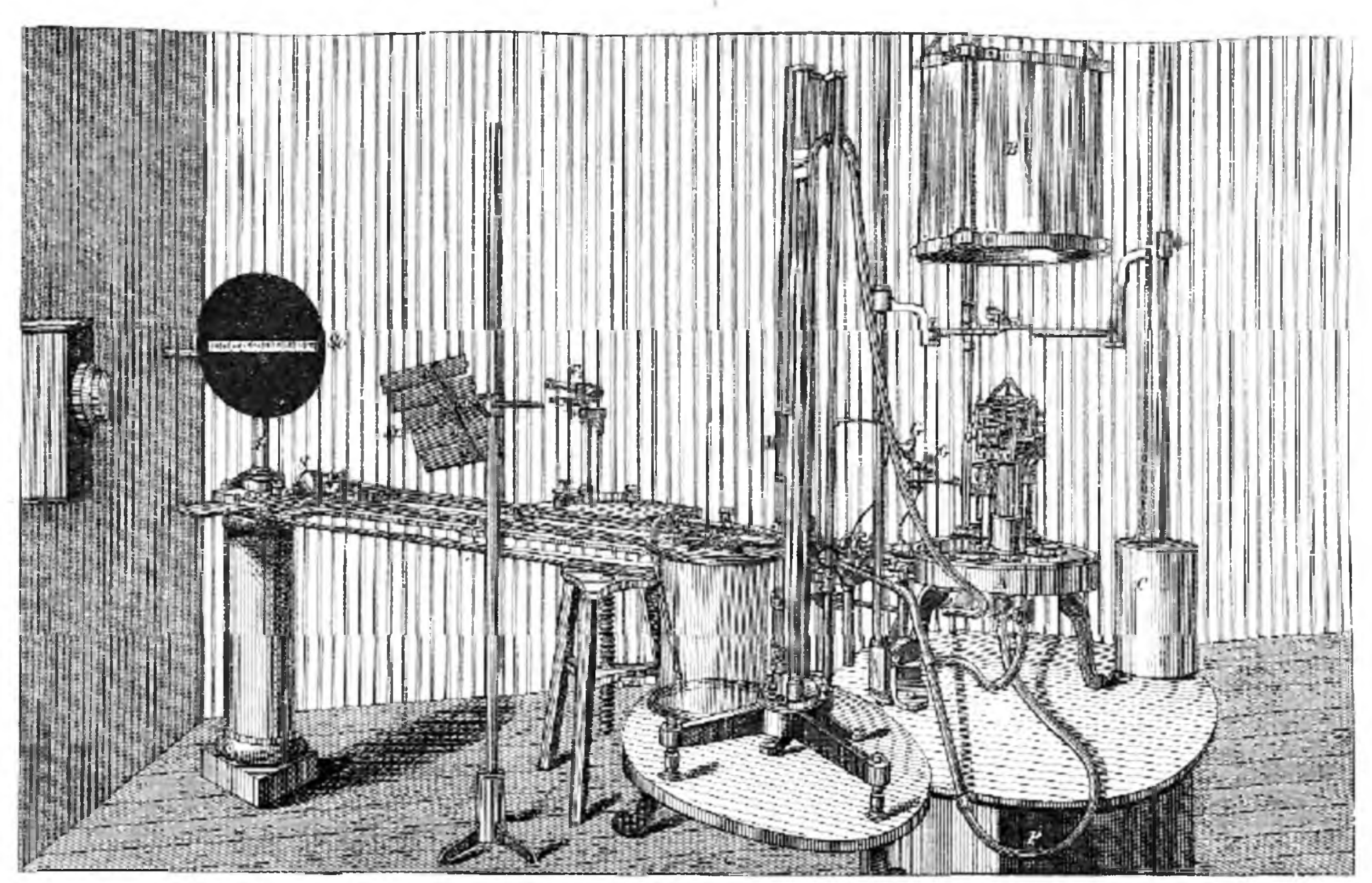
вторыя чашки посредствомъ стержней, длиной въ 226 см. Ускореніе силы тяжести въ томъ мѣстѣ, гдѣ помѣщается верхняя чашка, имѣетъ нѣсколько меньшую величину, чѣмъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ помѣщается нижняя. Если произвести обыкновенное Гауссовское взвѣшиваніе съ двумя килограммами, изъ которыхъ одинъ положенъ на лѣвую верхнюю чашку, а второй на правую нижнюю, а потомъ произведено горизонтальное перекладываніе слѣва направо и наоборотъ, то разница въ вѣсѣ, являющаяся, какъ результатъ этого перекладыванія, возникаетъ отъ разницы массъ обоихъ килограммовъ и отъ разницы въ силѣ тяжести вверху и внизу. Если переложить вверхъ ту массу, которая раньше помѣщалась внизу, и внизъ ту, которая была вверху, и снова произвести Гауссовы взвѣшиванія съ горизонтальнымъ перекладываніемъ, то результатъ взвѣшиванія окажется отличнымъ отъ предыдущаго, *потому* что, хотя *разница массъ осталась неизмѣнною*, разница силъ притяженія, при вертикальномъ перекладываніи, измѣнила свой знакъ. Слѣдовательно, при вычитаніи обоихъ результатовъ разность массъ пропадаетъ, и остается удвоенная разность силъ тяжести на обоихъ уровняхъ. При опредѣленіяхъ коэффиціента тяготѣнія, между верхней и нижней парой чашекъ помѣщался почти кубической формы кусокъ свинца, объемомъ около 9 куб. м. и массой около 100 000 кгр.; стержни, поддерживающіе нижнія чашки, проходили сквозь трубчатые каналы въ срединѣ этого куска. Благодаря присутствію столь значительной притягивающей массы, тяжесть въ мѣстѣ нахожденія верхней чашки кажется увеличенной, а въ мѣстѣ нахожденія нижней чашки кажется уменьшенной на величину притяженія, обнаруживаемаго этой массой. Убыль ускоренія силы тяжести снизу кверху оказывается такимъ образомъ уменьшенною на двойную величину ускоренія, вызываемаго притяженіемъ массы свинца. Поэтому комбинація двухъ взвѣшиваній съ одинаковыми начальными положеніями и съ такимъ же обмѣномъ мѣста килограммовъ, какъ и въ предыдущихъ опытахъ, даетъ теперь сумму двойной убыли тяжести съ высотою и учетвереннаго притяженія свинцовой массы. Комбинируя наблюденія со свинцомъ и наблюденія безъ свинца, исключаемъ дѣйствіе земного притяженія и находимъ величину учетвереннаго дѣйствія свинца. Изъ этихъ опытовъ, подробное описаніе которыхъ заставило бы насъ выйти за предѣлы нашей книги, найдено для коэффиціента тяготѣнія число, вполнѣ согласующееся съ данными, полученными по другимъ методамъ наблюденія, и число (5,505) для средней плотности земли, также вполнѣ согласное съ числами, найденными другими изслѣдователями, какъ Кавендишъ, Рейхъ, Корню, Жолли, Вильсингъ, Поэнтингъ, Бойсъ.

Приборы для измѣренія времени.

Часы. Камертонъ. Хроноскопъ Гиппа.

Что касается измѣренія времени, то здѣсь представляются сразу двѣ различныхъ задачи; во-первыхъ, опредѣленіе момента времени относительно нѣкотораго основного момента, обусловленнаго суточнымъ вращеніемъ нашей земли, напр. относительно момента истиннаго полудня, т.-е. момента прохожденія центра солнечнаго диска черезъ меридіанъ мѣста наблюденія, такое опредѣленіе называютъ абсолютнымъ измѣреніемъ времени. Во-вторыхъ, относительное измѣреніе времени, заключающееся въ томъ, чтобы раздѣлить какой-либо промежутокъ времени на опредѣленныя, впрочемъ въ какомъ угодно числѣ содержащіяся части, а также чтобы сравнить такія части между собою.

Приборы и инструменты, съ помощью которыхъ производятся оба рода измѣреній времени, называются измѣрителями времени, часами, хронометрами, хроноскопами. Древнѣйшими измѣрителями для абсолютнаго измѣренія вре-



234. **Полная установка вѣсовъ для взвѣшиванія въ пустотѣ въ наблюдательномъ залѣ императ. норм. повѣр. ком. въ Берлинѣ.**

мени были солнечные часы, на которыхъ время дня опредѣлялось по перемѣщенію тѣни какого-либо предмета, освѣщеннаго солнцемъ; для относительнаго измѣренія времени употреблялись водяные, ртутные и песочные часы, въ которыхъ судили о продолжительности отдѣльныхъ промежутковъ времени по количеству воды, ртути или песку, вытекавшихъ изъ отверстія опредѣленной величины.

Но только съ изобрѣтеніемъ часовъ съ маятникомъ стало возможнымъ точное измѣреніе времени. Обыкновенно пріоритетъ этого важнаго открытія приписывается Гюйгенсу. Но новыя историческія изслѣдованія Герланда показали, что Галилей еще въ 1641 г. изобрѣлъ часы съ маятникомъ и что это изобрѣтеніе оставалось неизвѣстнымъ только благодаря гоненію, воздвигнутому не только противъ самого Галилея, но и противъ *его сочиненій; Гюйгенсъ же, не зная изобрѣтенія Галилея, снова совершилъ* его въ 1656 г., слѣдовательно 15 лѣтъ позже.

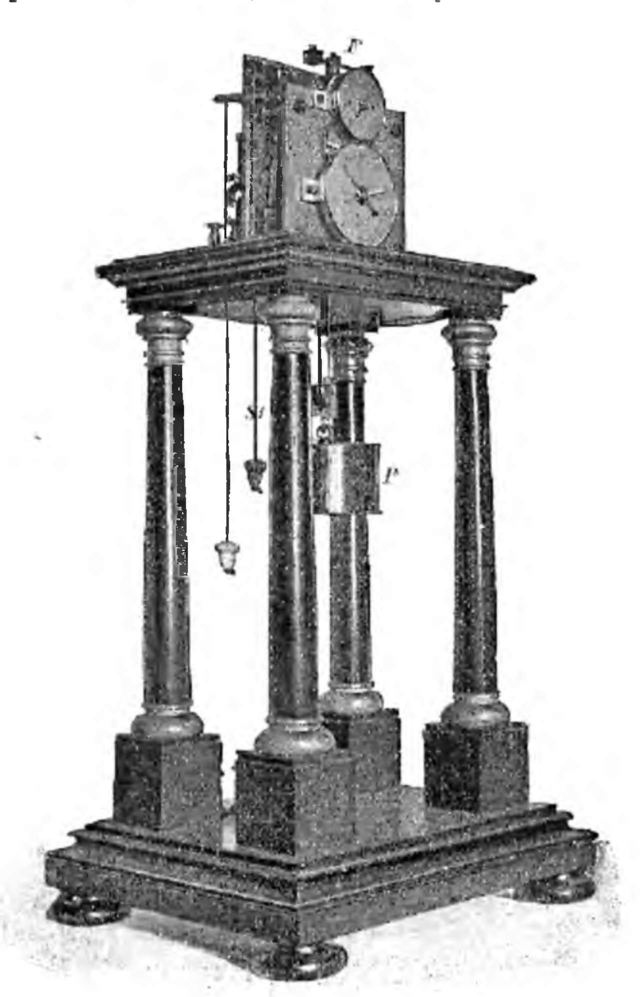
Устройство часовъ съ маятникомъ со времени Гюйгенса не подверглось никакимъ принципіальнымъ улучшеніямъ; измѣненія касались только улучшенія отдѣльныхъ частей, а именно приспособленія, освобождавшаго маятникъ, благодаря которому послѣдній и регулируетъ ходъ часовъ. Здѣсь не мѣсто входить въ подробности наиболѣе цѣлесообразнаго устройства подвѣса, остановки и компенсаціи маятника часовъ; въ другомъ мѣстѣ этой книги вопросъ этотъ былъ уже разобранъ довольно подробно. Здѣсь умѣстно только упомянуть о томъ, что въ настоящее время мы можемъ регулировать суточный ходъ часовъ съ маятникомъ для всѣхъ встрѣчающихся въ практикѣ температуръ съ точностью до 0,1 сек., слѣдовательно съ такою же точностью можемъ производить и абсолютное измѣреніе времени; притомъ этотъ предѣлъ точности абсолютнаго опредѣленія времени обусловливается несовершенствомъ нашихъ чувствъ. Въ самомъ дѣлѣ, ходъ нормальныхъ часовъ опредѣляется непосредственнымъ наблюденіемъ кажущагося прохожденія какой-либо звѣзды черезъ меридіанъ мѣста наблюденія, напр. такъ, что наблюдатель, въ моментъ кажущагося ему прохожденія звѣзды черезъ пересѣченіе перекрестныхъ нитей трубы, нажимаетъ на электрическую кнопку и этимъ фиксируетъ данный моментъ, который въ то же время соотвѣтственнымъ образомъ зарегистровывается на часахъ. Но между чувственнымъ впечатлѣніемъ и сознаніемъ послѣдняго протекаетъ извѣстное время, которое не только различно для различныхъ наблюдателей, но различно и для одного и того же наблюдателя, смотря по его душевному настроенію и положенію его *тѣла; величина этой ошибки достигаетъ до 0,1 сек. и при точныхъ астро*номическихъ наблюденіяхъ должна быть по возможности исключена посредствомъ т. наз. личнаго уравненія наблюдателя. Поэтому нормальные часы, суточный ходъ которыхъ урегулированъ до 0,1 сек., даютъ намъ единицу времени или среднюю секунду, которая можетъ быть наблюдаема по продолжительности колебанія маятника съ точностью, доходящею, можно сказать, до неизмѣримо малой величины, именно въ среднемъ до $\frac{1}{864\,000}$ секунды.

Обыкновенно часы показываютъ непосредственно цѣлыя секунды; хронометры показываютъ иногда половины, иногда двѣ пятыхъ секунды; для измѣренія же еще меньшихъ промежутковъ времени употребляютъ хроноскопы, а въ послѣднее время часто и камертоны, высота тона которыхъ, какъ извѣстно, зависитъ отъ числа колебаній въ секунду.

Изъ многихъ практическихъ примѣненій камертоновъ къ измѣренію малыхъ промежутковъ времени, напр. для доказательства и демонстрированія законовъ паденія, для измѣренія скорости распространенія нервной волны въ человѣческомъ тѣлѣ, здѣсь умѣстно упомянуть только объ интересномъ измѣреніи, совершенномъ въ послѣднее время французскимъ полковникомъ Себе-

ромъ, съ цѣлью опредѣленія, при помощи колебаній камертона, скорости движенія снаряда въ стволѣ орудія. Для этой цѣли въ стволѣ орудія помѣщается на тяжелыхъ салазкахъ камертонъ весьма большого числа колебаній, снабженный остріемъ; этотъ камертонъ не принимаетъ участія въ движеніи снаряда, а его колебанія, вызванныя взрывомъ пороховыхъ газовъ, отмѣчаются на пластинкѣ, покрытой сажей и соединенной съ снарядомъ. Опыты повторялись и повторяются германской артиллеріей въ Шпандау, и пользующійся широкой извѣстностью въ области точныхъ механическихъ работъ берлинскій механикъ Рейхель приготовилъ для нихъ камертонъ съ требуемымъ числомъ колебаній въ секунду (2050) и относительно долго не затихающимъ звукомъ; камертоны изготовлены съ точностью до долей одного колебанія — задача, которую по достоинству можетъ оцѣнить только тотъ, кто когда-нибудь занимался подбираніемъ двухъ камертоновъ одинаковой средней высоты тона. Прочее, касающееся камертоновъ, какъ измѣрителей времени, найдетъ себѣ мѣсто при изложеніи акустики.

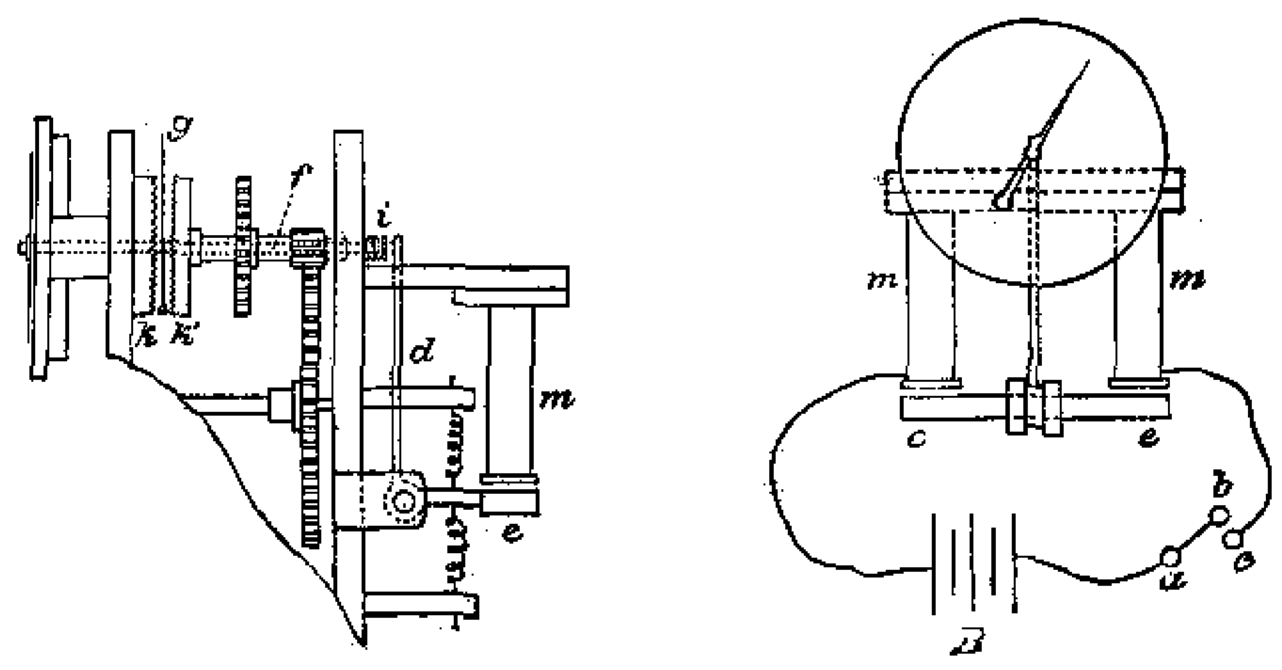
Мы опишемъ еще аппаратъ для измѣренія весьма малыхъ промежутковъ времени, т. наз. **хроноскопъ Гиппа** въ Невшателѣ, съ помощью котораго промежутки времени могутъ быть измѣрены съ точностью до одной тысячной секунды. Общій видъ его представленъ въ перспективѣ на рис. 235, а внутреннее устройство механизма на рис. 236 и 237. Въ главнѣйшихъ чертахъ устройство его заключается въ томъ, что механизмъ хроноскопа устроенъ **независимо** отъ собственно часового механизма, приводимаго въ движеніе гирей P и регулируемаго пружиной F; при помощи электромагнитнаго аппарата хроноскопъ можетъ быть въ любой моментъ, по желанію, присоединенъ и отдѣленъ отъ часового механизма. Если нужно измѣрить продолжительность нѣкотораго явленія, то слѣдуетъ такъ устроить электрическое включеніе, чтобы хроноскопъ въ моментъ начала явленія былъ присоединенъ къ приво-



235. Хроноскопъ Гиппа.

денному заранѣе въ движеніе часовому механизму, а въ моментъ окончанія явленія снова отдѣленъ отъ послѣдняго, иначе говоря, чтобы онъ находился въ движеніи только въ теченіе измѣряемаго промежутка. Хроноскопъ имѣетъ двѣ стрѣлки, изъ которыхъ большая пробѣгаетъ циферблатъ въ 10 сек., а малая въ 0,1 сек., и такъ какъ каждый циферблатъ раздѣленъ на 100 частей, то при помощи этого аппарата можно отсчитывать промежутки времени съ точностью до 0,001 секунды.

Когда токъ, идущій отъ батарей (2 элемента Даніэля) замыкается вслѣдствіе контакта между b и c, электромагнитъ m притягиваетъ якорь e; вслѣдствіе этого система рычаговъ d отодвигаетъ подвижную ось f съ стрѣлкой впередъ, и вторая, укрѣпленная на оси, стрѣлка g захватывается неподвижнымъ вѣнечнымъ колесомъ k, не участвующимъ въ движеніи часового механизма; хроноскопъ при этихъ условіяхъ отдѣленъ отъ послѣдняго. По размыканіи тока, якорь e освобождается, подвижная ось f оттягивается назадъ пружиной i, стрѣлка g зацѣпляется за подвижное колесо k', при-



236 и 237. Устройство хода у хроноскопа Гиппа.

нимающее участіе въ движеніи часового механизма, и хроноскопъ также приводится въ движеніе. При производствѣ ряда опытовъ, напр. при опредѣленіи продолжительности колебанія магнита (или при измѣреніи промежутка времени, въ теченіе котораго тѣло падаетъ съ извѣстной высоты), нужно поступать слѣдующимъ образомъ. Хроноскопъ сперва отдѣляется отъ часового механизма, и дѣлается отсчетъ по обѣимъ стрѣлкамъ; затѣмъ, вытягивая тормозный крючекъ, при помощи шнура S_1 механизмъ приводятъ въ движеніе; при помощи электрической кнопки, въ моментъ перваго прохожденія магнита черезъ положеніе равновѣсія, хроноскопъ соединяется съ часовымъ механизмомъ и отдѣляется отъ послѣдняго въ моментъ послѣдняго наблюдаемаго *прохожденія, такъ что онъ участвуетъ въ движеніи часового механизма опять-таки* только въ теченіе наблюденія колебаній. Разность между вторымъ и первымъ отсчетомъ, дѣленная на число прохожденій, даетъ искомую продолжительность колебанія.

* * *

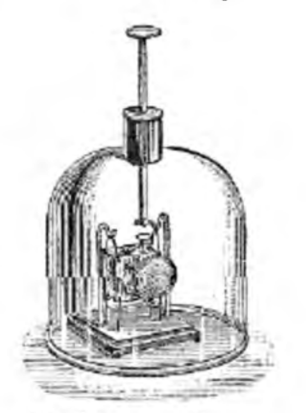
Изъ предыдущаго ясно, что при измѣреніи трехъ основныхъ величинъ, длины, массы и времени, мы почти подошли съ своими методами и приспособленіями къ тому предѣлу, до котораго вообще позволяютъ намъ итти наши чувства. И мы испытываемъ полное удовлетвореніе, потому что какъ разъ

за оба послѣднія десятилѣтія искусство изготовленія точныхъ приборовъ сдѣлало въ Германіи большіе шаги впередъ. Поэтому мы можемъ надѣяться, что при цѣлесообразномъ и дружномъ движеніи науки и техники, благодаря организаціи государственныхъ учрежденій, предназначенныхъ для такихъ экспериментальныхъ изслѣдованій, веденіе которыхъ слишкомъ трудно и дорого для отдѣльныхъ лицъ, хотя и необходимо для усовершенствованія искусства изготовленія точныхъ приборовъ, мы достигнемъ въ измѣреніи многихъ другихъ производныхъ единицъ мѣръ, употребляемыхъ въ различныхъ областяхъ физики, той же степени увѣренности и точности, какія достигнуты уже въ настоящее время по отношенію къ тремъ основнымъ единицамъ: длины, массы и времени.

О звукѣ.

Звуковыя волны. Ихъ распространеніе и скорость. Отраженіе. Эхо. Говорная и слуховая трубы. Тонъ и цвѣтъ. Самые низкіе и высокіе тоны. Сирены Савара, Зеебека, Каньяръ-де-Латура. Теорема Фурье. Колебаніе струнъ. Монохордъ. Интервалы и гаммы. Мажоръ и миноръ. Гельмгольцъ. Узлы на колеблющихся струнахъ и пластинкахъ. Хладніевы фигуры. Обертоны. Оттѣнокъ звука инструментовъ. Звуки гласныхъ. Тоны сочетаній. Тартини и Зорге. Открытыя и закрытыя трубы. Телефонъ Рейса. Телефонъ Белля. Фонографъ. Граммофонъ. Фотофонъ.

Мы сознаемъ явленія внѣшняго міра при посредствѣ находящихся въ мозгу нервовъ, т.-е. центральной нервной системы, именно каждому отдѣльному чувственному ощущенію соотвѣтствуютъ исключительно особые нервы. Сущность этого посредства состоитъ въ переносѣ нѣкоторыхъ формъ движеній на нервы, которые въ свою очередь приходятъ также въ частичное дрожаніе. Пушечный выстрѣлъ приводитъ въ сотрясеніе воздухъ и всѣ находящіеся вблизи предметы. „Воздухъ есть носитель звука“, говоритъ Гумбольдтъ въ своемъ „Космосѣ“, „слѣд. также и носитель рѣчи, посредникъ въ сообщеніи идей, общительности между народами. Еслибы земной шаръ, подобно нашей лунѣ, былъ лишенъ атмосферы, онъ представлялся бы въ нашемъ воображеніи беззвучною пустынею“.

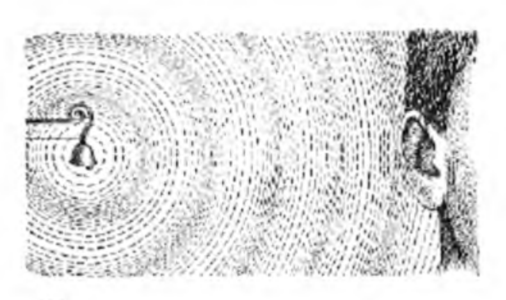


238. Звонокъ въ безвоздушномъ пространствѣ.

Подобно тому, какъ уколомъ на кожѣ нашего тѣла раздражаются близлежащіе нервы, и это раздраженіе ощущается въ нашемъ мозгу, какъ боль; какъ запахъ розы дѣйствуетъ на наши обонятельные нервы, и вызываемыя чрезъ это частичныя движенія обонятельныхъ нервовъ производятъ въ насъ ощущеніе благоуханія; далѣе, подобно тому, какъ зрительные нервы при свѣтовомъ ощущеніи нашего глаза приводятся волнообразными колебаніями всепроникающаго свѣтового эфира въ соотвѣтственное возбужденіе, — совершенно такъ же впечатлѣнія, получаемыя нами посредствомъ нашего уха, суть не что иное, какъ слѣдствіе движеній, которыя передаются слуховымъ нервамъ черезъ слуховой проходъ уха и ощущаются нами, какъ звукъ. Мы слышимъ выстрѣлъ ружья и по дрожанію одновременно съ этимъ оконныхъ стеколъ можемъ замѣтить, какъ колеблется воздухъ; сотрясенія же самого воздуха мы можемъ воспроизвести фотографическимъ путемъ, какъ впервые показали это нѣмецкій физикъ Махъ и послѣ него англійскій физикъ Вернонъ Бойсъ.

Все, что слышимъ, мы означаемъ обыкновенно словомъ звукъ, и тѣ волнообразныя движенія, которыя производятъ звукъ, мы называемъ звуковыми колебаніями. Они состоятъ изъ попеременныхъ сгущеній и разрѣ-

женій воздуха. Три вещи вполнѣ необходимы для ощущенія звука: звучащее тѣло, среда, въ которой распространяется звукъ, и воспринимающій органъ. Безъ звучащаго тѣла, естественно, ничего нельзя слышать; шумы и звонъ въ ушахъ суть только болѣзненныя явленія. Подавно нельзя слышать при разстройствѣ слухового нерва. Наконецъ при отсутствіи распространяющей колебанія среды, воздуха, у насъ также не будетъ никакого слухового ощущенія. На высокихъ горахъ голосъ нашъ звучитъ слабѣе, чѣмъ въ равнинахъ, такъ какъ воздухъ тамъ рѣже. На Монбланѣ Соссюръ стрѣлялъ изъ пистолета, и производимый звукъ былъ не сильнѣе того, какъ если ударить одинъ о другой два куска дерева. Если мы помѣстимъ подъ колоколъ воздушнаго насоса звонокъ или боевой механизмъ часовъ, то до тѣхъ поръ будемъ ясно слышать звукъ звонка, пока разрѣженіе воздуха подъ колоколомъ незначительно. Но по мѣрѣ того, какъ выкачиваніемъ воздухъ разрѣжается, уменьшается сила звука, и его совсѣмъ не будетъ слышно, если разрѣженіе подъ колоколомъ доведено до пустоты, хотя мы и будемъ продолжать видѣть дѣйствіе боевого механизма. На рис. 238 изображенъ приборъ для производства этого опыта: именно, стеклянный балонъ, въ которомъ находится звонокъ съ часовымъ механизмомъ и который можетъ быть поставленъ на тарелку воздушнаго насоса.



239. Распространеніе воздушныхъ волнъ въ воздухѣ.

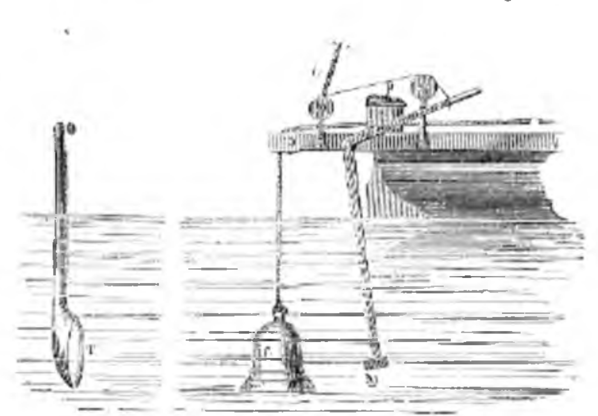
Звуковыя волны распространяются равномѣрно и прямолинейно во всѣ стороны, такъ что поверхности отдѣльныхъ волнъ всегда образуютъ рядъ сферъ, мысленно проведенныхъ вокругъ источника. Такъ какъ звукъ достигаетъ каждой точки по прямой линіи, то говорятъ о звуковыхъ лучахъ. Сила звука съ увеличеніемъ разстоянія отъ источника звука становится все слабѣе, а именно напряженіе его, какъ это слѣдуетъ изъ простого математическаго разсмотрѣнія, уменьшается вмѣстѣ съ квадратомъ разстоянія, такъ что пистолетный выстрѣлъ на разстояніи одного метра дѣйствуетъ на наше ухо въ сто разъ сильнѣе, нежели выстрѣлъ, произведенный на разстояніи 10 метровъ.

Въ сухомъ воздухѣ, при температурѣ 0° С, звукъ распространяется со скоростью 331 метр. въ секунду. Это число было результатомъ знаменитыхъ опытовъ, которые произвело bureau des longitudes въ Парижѣ въ ночь съ 21 на 22 іюня 1822 г., и въ которыхъ, среди другихъ, принимали участіе Араго, Гей-Люссакъ и Александръ Гумбольдтъ. На обоихъ, расположенныхъ къ югу отъ Парижа, холмахъ Villejuif и Montlhéry были поставлены пушки, и изъ нихъ сдѣлано по 12 выстрѣловъ съ промежутками времени въ 10 минутъ, а именно на одной изъ станцій пятью минутами ранѣе, нежели на другой. При ясномъ небѣ и спокойномъ воздухѣ можно было хорошо видѣть вспышку огня и помощью вѣрнаго хронометра измѣрить время, протекшее между появленіемъ огня и ощущеніемъ звука. Это время составляло въ среднемъ 54,6 сек. для разстоянія между обѣими пушками въ 9549.6 туазовъ. Найденное такимъ образомъ значеніе въ 331 м. для скорости звука въ сухомъ воздухѣ подтвердилось болѣе поздними опытами. Слѣдов., если свѣтовой лучъ, скорость распространенія котораго въ воздухѣ составляетъ около 300 000 000 метр. въ сек., для прохожденія разстоянія отъ солнца до земли требуетъ 8 мин. 13 секундъ, то для звука, предполагая достаточную его напряженность, потребовалось бы время около 14 лѣтъ для того, чтобы достичь ему отъ солнца до земли. Тотъ фактъ, что свѣтъ распространяется значительно

быстрѣе звука, объясняетъ нѣкоторыя явленія обыденной жизни. Напримѣръ, если наблюдать за работой дровосѣка съ нѣкотораго разстоянія, то ударъ слышенъ не въ тотъ самый моментъ, когда мы видимъ топоръ ударяющимъ о колоду, но позже, когда топоръ снова поднятъ для второго удара. При выстрѣлѣ пушки, находящейся на далекомъ разстояніи, свѣтовое явленіе замѣчаютъ ранѣе, нежели слышатъ выстрѣлъ, совершенно такъ же, какъ во время грозы обыкновенно видятъ сверкнувшую молнію ранѣе, чѣмъ слышатъ громъ.

Скорость распространенія звука въ воздухѣ не зависитъ отъ давленія, но мѣняется вмѣстѣ съ влажностью и еще болѣе съ температурою воздуха. По опытамъ Реньо скорость зависитъ, хотя только незначительно, отъ силы звука: она уменьшается съ убываніемъ силы звука. Далѣе Реньо и Кенигъ въ Парижѣ нашли, что тоны низкіе распространяются нѣсколько быстрѣе высокихъ; приблизительно же всѣ тоны, каковы бы ни были ихъ напряженіе и высота, распространяются въ воздухѣ съ одинаковою скоростью.

Но не только одинъ воздухъ передаетъ звуковыя волны, сотрясенія распространяются также и въ твердыхъ тѣлахъ, именно, скорость распространенія звука въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ даже больше, чѣмъ въ газообразныхъ. Напримѣръ, въ оловѣ она въ 8 разъ, въ мѣди въ 12 разъ, въ желѣзѣ, стали и стеклѣ въ 16 разъ, въ различныхъ древесныхъ породахъ, именно въ направленіи ихъ волоконъ, отъ 9 до 13 разъ больше, нежели въ воздухѣ. Преимущественно еловое дерево, благодаря своей упругости хорошо поддерживаетъ



240. Измѣреніе скорости звука въ водѣ.

звуковыя колебанія, почему оно и играетъ столь значительную роль въ производствѣ музыкальныхъ инструментовъ. Изъ него выдѣлываются преимущественно струнные инструменты и тѣ части музыкальныхъ инструментовъ, которыя принимаютъ участіе въ колебаніяхъ, между тѣмъ какъ флейты, кларнеты и другіе инструменты, корпусы которыхъ не должны приходить въ колебаніе, приготовляются изъ чернаго, буковаго дерева, слоновой кости и подобнаго менѣе упругаго матеріала. Гулъ при изверженіи вулкана Морне Гару на о. Сенъ-Винчентъ былъ слышенъ на протяженіи 150 нѣмецкихъ миль вплоть до озера Маракаибо. Звукъ распространялся не черезъ воздухъ, а черезъ землю. Вообще извѣстно, что дикіе, прикладывая къ землѣ ухо, съ большою вѣрностью могутъ обнаруживать приближеніе непріятеля, направленіе его движенія, а также приблизительную его силу.

Что звукъ съ большою легкостью распространяется также и въ жидкостяхъ, каждый изъ насъ имѣлъ случай наблюдать при купаньи. Рис. 240 представляетъ расположеніе опыта, которымъ въ 1827 г. Колладонъ и Штурмъ измѣряли скорость распространенія звука въ водѣ Женевскаго озера. Молотомъ M заставляли звучать колоколъ C на одной изъ двухъ станцій, разстояніе между которыми было точно опредѣлено. Для этого служилъ рычагъ, который помощью перекинутой черезъ блокъ нити P соединялся съ подвижнымъ источникомъ свѣта L такъ, что послѣдній, всякій разъ когда производили ударъ молотомъ, отклонялся. Наблюдатель на другой

станціи, перехватывая звуковыя волны помощью слуховой трубы T, естественно, видитъ движеніе свѣта гораздо ранѣе, чѣмъ слышитъ звукъ. Зная съ одной стороны промежутокъ времени, протекшій между тѣмъ моментомъ, когда замѣчено движеніе свѣта, и ощущеніемъ звука, съ другой стороны — разстояніе обѣихъ станцій, легко высчитать скорость звука. Опыты дали для нея значеніе въ 1435 метровъ.

Отраженіе звука. Тѣ препятствія, которыя звуковыя волны встрѣчаютъ на своемъ пути, разнообразно вліяютъ на нихъ. Тѣла легко подвижныя, но мало упругія, весьма неполно передаютъ далѣе получаемыя ими колебанія. Въ помѣщеніяхъ, гдѣ раскинуты шерстяные чехлы, ковры, занавѣсы и т. под., рѣчь и музыка сильно заглушаются[1]. Напротивъ, твердыя упругія тѣла отражаютъ звуковыя лучи по тѣмъ же законамъ, по которымъ, напр., отбрасываются билліардные шары отъ краевъ билліарда, или по которымъ свѣтовые лучи отражаются отъ зеркальныхъ поверхностей, только звуковыя волны гораздо длиннѣе и требуютъ для своего распространенія несравненно больше времени, чѣмъ лучи свѣтовые.

Если отражающая стѣна находится на нѣкоторомъ разстояніи одновременно и отъ насъ и отъ источника звука, такъ что звукъ требуетъ замѣтно большаго времени для того, чтобы достичь до нашего уха по ломанному пути, другими словами, если протекаетъ нѣкоторое время между приходомъ прямыхъ и отраженныхъ отъ стѣны звуковыхъ волнъ, то мы слышимъ послѣднія отдѣльно позже прямыхъ и называемъ это явленіе эхо. Если отражающая стѣна удалена отъ насъ на 331 м., то мы услышимъ эхо спустя двѣ секунды, такъ какъ звукъ, отраженный, распространяется съ тою же скоростью, что и прямой. При благопріятныхъ обстоятельствахъ подобное эхо можетъ повторять не только слова, но и цѣлыя предложенія, именно, мѣстности плитняковаго отложенія съ правильными, круто спускающимися большими стѣнами, какъ напр. въ Швейцаріи на Венгерскихъ Альпахъ и при Розенлоэ въ долинѣ Гасли, въ Исполинскихъ горахъ при Адерсбахѣ, также въ Саксонской Швейцаріи и т. д., отличаются многочисленными эхо, къ немалой досадѣ путешественниковъ; ибо въ иныхъ мѣстахъ самыхъ великолѣпныхъ альпійскихъ ущелій эхо прямо буйствуетъ, безпокоя путешественниковъ неотвязчиво на каждомъ шагу звуками рога или трубы или даже выстрѣлами какъ бы изъ мортиры. Извѣстно эхо въ одной малой залѣ дворца Сансуси у Потсдама; тамъ громкое однократное хлопанье въ ладоши оставляетъ впечатлѣніе продолжительнаго треска ружейной пальбы. Далѣе извѣстно эхо у Лурлейской скалы и особенно во дворцѣ Симонета подлѣ Милана; вслѣдствіе отраженія звука отъ различныхъ пристроекъ дворца выстрѣлъ, произведенный изъ окна главнаго зданія, слышенъ до 50 разъ.

Кривыми поверхностями звуковые лучи могутъ быть собраны совершенно такъ же, какъ лучи свѣтовые соединяются вогнутымъ зеркаломъ; изъ этого дѣлается важное примѣненіе при постройкѣ концертныхъ залъ, театровъ и тому подобныхъ зданій. Заламъ, предназначеннымъ для хорового пѣнія, придаютъ часто въ планѣ такъ же, какъ и въ сѣченіяхъ въ продольномъ и поперечномъ, форму эллипса.

Какъ извѣстно, эллипсъ имѣетъ два фокуса, т.-е. двѣ точки съ такимъ свойствомъ, что всѣ лучи, идущіе отъ одной изъ нихъ, послѣ отраженія отъ стѣнокъ эллипса снова встрѣчаются въ другой точкѣ. Поэтому тихій шопотъ, производимый въ мѣстѣ одного фокуса эллиптически-сводчатаго пространства, можетъ отчетливо быть слышенъ въ мѣстѣ второго фокуса. Устройство потайныхъ лѣстницъ и оконныхъ нишъ въ залахъ старинныхъ дворцовъ основано на этомъ свойствѣ эллипса; подобнымъ же образомъ устроено

[1] Они не вполнѣ пропускаютъ волны, недостаточно сильно отражаютъ ихъ.

знаменитое ухо Дionиса, углубленie въ стѣнѣ для заключенія преступниковъ, въ которомъ, разсказываютъ, государственные плѣнники не могли разговаривать безъ того, чтобы ихъ разговоръ не былъ ясно слышенъ въ опредѣленномъ мѣстѣ. Далѣе разсказываютъ, что въ одной церкви Сициліи исповѣдальня была такимъ образомъ поставлена, что тайна исповѣдника, предназначенная только для духовника и передаваемая шопотомъ, вслѣдствіе отраженія отъ эллипсоидальнаго потолка могла быть слышна непризванными въ одномъ далеко отдаленномъ мѣстѣ церкви.

Также извѣстны акустическіе гроты въ монастырскомъ паркѣ Олива подлѣ Данцига; они находятся въ фокусахъ эллипсоида, такъ что разговоръ, произведенный шопотомъ, въ одномъ гротѣ, можетъ быть ясно слышенъ въ другомъ гротѣ, между тѣмъ какъ на пути, соединяющемъ оба грота, нельзя ничего знать изъ разговора.


241. Слуховая труба.

Говорная и слуховая трубы. Когда звуковыя волны постоянно такъ отражаются окружающими стѣнками, что онѣ могутъ распространяться только по одному направленію, то ихъ напряженіе въ этомъ направленіи бываетъ наибольшее. Біо, знаменитый французскій физикъ, произвелъ надъ этимъ опыты съ водопроводными трубами въ Парижѣ. Въ тихую ночь онъ становился у одного конца трубы, длиною въ 900 метровъ и заставлялъ на другомъ концѣ говорить, играть на разныхъ инструментахъ, и производить всевозможной силы шумъ; онъ нашелъ, что звуковыя волны на этомъ длинномъ разстояніи нисколько не теряли въ своей напряженности; былъ слышенъ самый тихій звукъ, и единственнымъ средствомъ ничего не слышать — это было, какъ онъ выражается, заставить господствовать полную тишину на другомъ концѣ трубы.

Съ давняго времени факты эти нашли примѣненіе въ говорной и слуховой трубахъ. Въ одной старинной книгѣ, переведенной съ арабскаго въ 1516 г., печатанной въ Римѣ и неправильно приписанной Аристотелю, упоминается, что у Александра Великаго былъ рогъ, которымъ онъ могъ созывать свое войско въ разстояніи 100 стадій; этотъ рогъ такъ же, какъ и рогъ, которымъ пользовался рыцарь Роландъ въ долинѣ Ронсеваль, не могли быть настоящею говорной трубою, но только обыкновеннымъ военнымъ рогомъ. Говорная труба была впервые изобрѣтена рыцаремъ Самуиломъ Морландомъ въ 1670 г.; въ Дилѣ, въ присутствіи англійскаго короля Карла II и принца Роберта онъ производилъ опыты, въ которыхъ ему служилъ сдѣланный изъ листовой мѣди усѣченный конусъ, длиною въ 1,68 м., съ поперечникомъ въ 5 сант. на одномъ концѣ и въ 52 сант. на другомъ. При употребленіи этой говорной трубы звукъ голоса можно было слышать на три англійскія мили. Уже спустя двадцать лѣтъ извѣстный Аѳанасій Кирхеръ предложилъ одно приспособленіе, имѣвшее цѣлью сдѣлать возможнымъ для плохо слышащихъ пониманіе рѣчи; оно состояло совершенно такъ же изъ конусообразной трубы, острый конецъ которой вставлялся въ ухо, тогда какъ въ расширенный раструбъ произносились слова. Только потомъ Кирхеръ обратилъ вниманіе на то, что этой слуховой трубой можно пользоваться, какъ и говорною, если ее перевернуть и говорить въ острый конецъ.


242. Говорная труба (рупоръ).

Теперь говорная труба имѣетъ только ничтожное значеніе; ее примѣ-

няютъ еще на судахъ, на высокихъ горахъ и башняхъ для того, чтобы дѣлать внизъ приказанія и увѣдомленія; въ формѣ же рупоровъ она употребляется также и въ зданіяхъ съ цѣлью сообщаться между собою чрезъ различныя помѣщенія. Съ двумя такими трубами, какія представлены на рис. 241 и 242, можно на волѣ, при спокойномъ состояніи воздуха, переговариваться въ разстояніи 1000 метровъ. Въ новѣйшее время говорная труба находитъ примѣненіе въ фонографахъ.

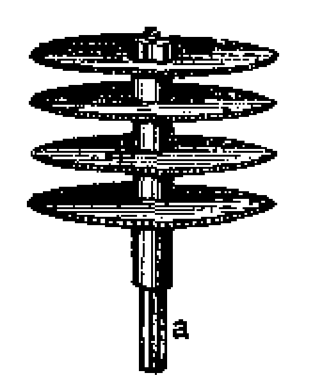
Напротивъ, слуховая труба продолжаетъ имѣть значеніе: она для уха нѣкоторымъ образомъ то же, что очки для глаза. Она состоитъ изъ конической трубки съ расширеннымъ отверстіемъ подобно рогу и имѣетъ своею цѣлью принимать большое число звуковыхъ волнъ и, нѣкоторымъ образомъ сгущая, передавать ихъ уху. Но она выполняетъ свою цѣль только для тѣхъ лицъ, которыя не совсѣмъ плохо слышатъ и еще воспріимчивы къ болѣе сильнымъ слуховымъ впечатлѣніямъ. Особенно удобный матеріалъ для приготовленія слуховыхъ трубъ представляетъ гуттаперча, съ которой легко обращаться, благодаря ея гибкости. При подходящемъ соединеніи большаго числа раструбовъ съ главною трубою, лица, страдающія глухотой, получаютъ возможность разговаривать даже въ многолюдномъ обществѣ.

Тонъ. До сихъ поръ мы разсматривали распространеніе отдѣльной звуковой волны въ воздухѣ и указали на аналогію съ распространеніемъ свѣта. Взрывъ, пушечный выстрѣлъ, стукъ вагона, раскаты грома вызываютъ въ насъ звуковыя ощущенія, которыя можно сравнивать съ общими свѣтовыми впечатлѣніями, съ блистаньемъ ракеты, съ солнечнымъ свѣтомъ, внезапно попадающимъ черезъ отраженіе въ нашъ глазъ и т. под. Мы будемъ въ состояніи провести еще дальше аналогію и увидѣть, что музыкальный тонъ такъ относится къ общему слуховому ощущенію, вызываемому въ насъ шумомъ, какъ опредѣленный цвѣтной тонъ относится къ общему впечатлѣнію свѣта.

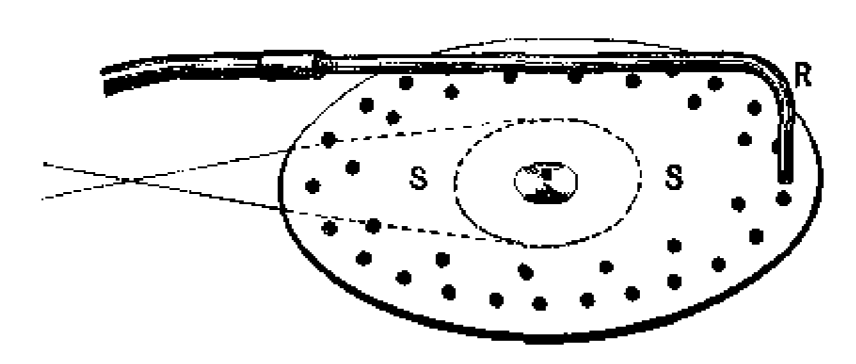
Шумъ происходитъ при неправильной послѣдовательности сотрясеній, достигающихъ до нашихъ слуховыхъ нервовъ, музыкальный тонъ — отъ быстро слѣдующихъ другъ за другомъ правильно и точно черезъ равные промежутки времени періодическихъ колебаній. Мы называемъ періодическимъ такое движеніе, которое повторяется одинаковымъ образомъ чрезъ одинаковое время. Самый простой примѣръ періодическаго движенія колебанія маятника, которыя слѣдуютъ другъ за другомъ въ совершенной правильности и періодически производятъ толчки воздуха. Эти воздушные толчки слѣдуютъ однако другъ за другомъ недостаточно быстро, чтобы они могли возбудить наши слуховые нервы. Тогда только, когда толчки, приводящіе воздухъ въ колебанія, повторяются правильно, и достаточно быстро, возникаетъ тонъ. Тонъ, подобно цвѣту, удовлетворяетъ насъ опредѣленнымъ пріятнымъ чувствомъ, между тѣмъ какъ дѣйствіе шума непріятно нашему уху, что можно сравнить, напримѣръ, съ впечатлѣніемъ на нашъ глазъ яркаго свѣта. Мы и тутъ опять видимъ, что произволъ лишенъ прекраснаго и что послѣднее состоитъ въ порядкѣ, гармоніи и закономѣрности.

Въ музыкальномъ тонѣ мы дѣлаемъ троякое различіе: его высота, сила и оттѣнокъ. Высота музыкальнаго тона обусловливается числомъ толчковъ или колебаній, которые слѣдуютъ въ секунду; тонъ тѣмъ выше, чѣмъ больше колебаній слѣдуютъ въ одну секунду. Сила тона зависитъ отъ размаха или амплитуды колебанія. Наконецъ подъ оттѣнкомъ разумѣютъ тотъ характеристическій признакъ, по которому тоны одной и той же высоты, но извлеченные на различныхъ инструментахъ, различаются между собою, помимо ихъ силы. *Оттѣнокъ такъ называемаго камертона a всегда другой, спѣтъ ли* этотъ тонъ человѣческимъ голосомъ, или онъ взятъ на фортепіано, или сыгранъ на скрипкѣ, или звучитъ на флейтѣ.

Опытное доказательство того, что высота музыкальнаго звука зависитъ только отъ числа толчковъ или колебаній, слѣдующихъ въ опредѣленное время, можетъ быть произведено помощью прибора, который носитъ прекрасное названіе сирены, хотя то, что онъ даетъ глазу и уху, этого нельзя назвать прямо обольстительно прекраснымъ. Англичанинъ Робертъ Гукъ уже въ 1681 г. показалъ, что происходитъ музыкальный тонъ, если касаться карточнымъ листомъ зубцовъ быстро вращающагося колеса, а французскій физикъ Саваръ повторилъ этотъ опытъ съ названною имъ сиреною съ зубчатыми колесами. На оси *a* (рис. 243), которая помощью центробѣжной машины можетъ быть приведена въ быстрое вращеніе, крѣпко насажены четыре колеса, на которыхъ числа зубцовъ находятся между собою въ различныхъ отношеніяхъ. Если при постоянной скорости вращенія касаться карточнымъ листочкомъ поочереди отдѣльныхъ колесъ, то колеса даютъ тонъ тѣмъ высшій, чѣмъ больше на нихъ зубцовъ, слѣдовательно чѣмъ больше ударовъ произведено о карточку въ одно и то же время. Если увеличивать скорость вращенія, тоны равномѣрно повышаются, если ее уменьшать, тоны понижаются. Когда скорость вращенія слишкомъ мала, то хотя и слышны отдѣльные удары зубцовъ о листокъ, однако они слѣдуютъ другъ за другомъ слишкомъ медленно для того, чтобы мы могли воспринимать



243. Сирена Савара съ зубчатыми колесами.



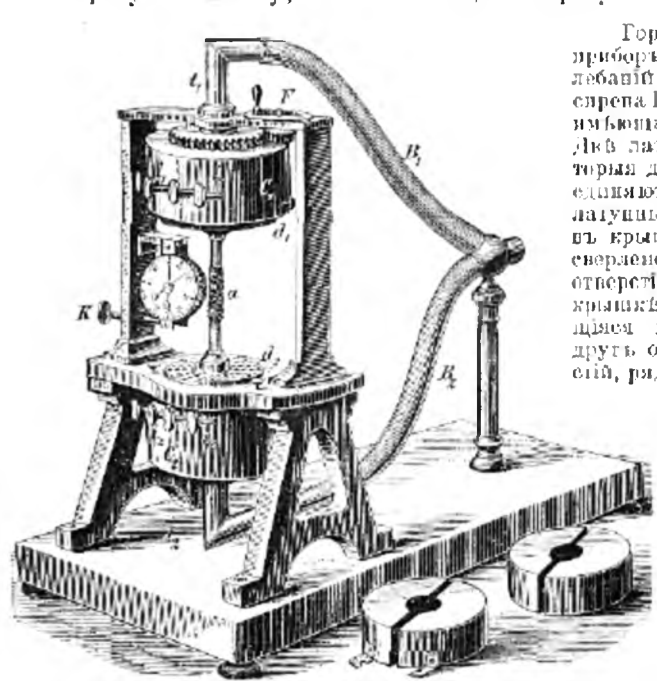
244. Сирена Зеебека.

ихъ, какъ звукъ. По крайней мѣрѣ должно происходить 30 ударовъ въ 1 сек., чтобы вызывалось впечатлѣніе звука. Низкимъ *C* въ музыкѣ обозначается тонъ, дѣлающій въ секунду 32 колебанія. Приблизительно около этого находится предѣлъ, до котораго ухо человѣка можетъ различать самые низкіе тоны. Болѣе медленныя колебанія ощущаются только, какъ отдѣльные толчки воздуха. Наивысшій тонъ, который мы можемъ слышать, происходитъ приблизительно при 30 000 колебаній въ секунду. За этимъ предѣломъ наше ухо не обладаетъ болѣе способностью ощущать звукъ, тогда какъ слуховые органы нѣкоторыхъ животныхъ повидимому обладаютъ гораздо большей чувствительностью къ тонамъ, еще болѣе высокимъ.

Другая, болѣе удобная для этого опыта форма сирены дана Зеебекомъ. Круглый картонный или металлическій дискъ *SS* (рис. 244), который снабженъ однимъ или нѣсколькими рядами отверстій, расположенныхъ концентрично съ окружностью диска и на равныхъ между собою разстояніяхъ, помощью центробѣжной машины можетъ быть приведенъ въ быстрое вращеніе. Надъ однимъ изъ рядовъ отверстій находится трубка *R*, изъ которой помощью мѣховъ можетъ быть выдуваемъ воздухъ на вращающіяся отверстія. Такимъ образомъ слѣдуютъ быстро одинъ за другимъ толчки, производящіе періодическія колебанія, которыя при достаточно быстромъ вращеніи сливаются въ музыкальный звукъ. Высота тона остается тою же самой, пока скорость вращенія диска постоянна. Если послѣднюю увеличить, тонъ повышается, если ее уменьшать, тонъ понижается. Если число отверстій въ ряду *m*, то при одномъ оборотѣ диска происходитъ *m* толчковъ воздуха, а

если въ 1 секунду n оборотовъ, то произойдетъ m разъ по n толчковъ воздуха. Высота тона, слѣдовательно зависитъ отъ числа колебаній, представляемаго произведеніемъ $m \cdot n$.

Существуетъ внутренняя зависимость между гармоническими музыкальными интервалами каждыхъ двухъ звуковъ и числами ихъ колебаній. Если первый рядъ содержитъ вдвое больше отверстій, нежели второй, и если при постоянной скорости вращенія дуть поочередно на оба ряда отверстій, то первый рядъ даетъ высшую октаву того тона, который получается на второмъ ряду отверстій. Интервалъ октавы соотвѣтствуетъ отношенію чиселъ колебаній 1 : 2. Если отношеніе чиселъ колебаній двухъ тоновъ 2 : 3, то они образуютъ квинту; если оно 3 : 4, то образуется кварта.



245. Двойная сирена Гельмгольца со счетчикомъ.

Гораздо болѣе совершенный приборъ для опредѣленія числа колебаній звука представляетъ собою сирена Каньяра де Латура (рис. 245), имѣющая слѣдующее устройство. Двѣ латунныя трубки t_1 и t_2, которыя двумя рукавами B_1 и B_2 соединяются съ мѣхами, ведутъ къ латуннымъ цилиндрамъ C_1 и C_2; въ крышкахъ у послѣднихъ просверлено 4 концентрическихъ ряда отверстій, а именно въ нижней крышкѣ ряды содержатъ находящіяся въ равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга 8, 10, 12, 16 отверстій, ряды верхней крышки — 9, 12, 15, 18 отверстій. Если помощью мѣховъ вдувать воздухъ въ цилиндры чрезъ трубки t_1 и t_2, то онъ выходитъ чрезъ отверстія. Эти однако не вполнѣ свободно проходимы, но непосредственно надъ крышками находятся два совершенно также продыравленные латунные диска d_1 и d_2, прикрѣпленные къ оси a, которая съ крайне ничтожнымъ треніемъ можетъ вращаться острыми наконечниками въ полированныхъ стальныхъ ложахъ. Если отверстія дисковъ лежатъ прямо передъ отверстіями крышки, тогда воздухъ можетъ свободно выходить чрезъ нихъ. Но когда при вращеніи оси подъ отверстіями крышекъ попадаютъ непросверленныя мѣста дисковъ, тогда воздухъ не можетъ свободно выходить. Такимъ образомъ вступающій потокъ воздуха разлагается на отдѣльные толчки, которые, если они достаточно быстро слѣдуютъ одинъ за другимъ, сливаются въ музыкальный тонъ. Вращеніе оси a, диски которой попеременно прерываютъ потокъ воздуха, производится самимъ потокомъ воздуха. Для этой цѣли отверстія въ крышкахъ просверлены наклонно, и совершенно такъ же, но въ противоположномъ направленіи, просверлены наклонно соотвѣтствующія отверстія обоихъ дисковъ, такъ что воздухъ выходитъ изъ отверстій цилиндровъ направленными въ сторону потоками, которые ударяютъ въ диски d_1 и d_2 и приводятъ ихъ въ движеніе. При постоянствѣ струи воздуха получается въ широкихъ предѣлахъ постоянная скорость вращенія, и соотвѣтствующее извѣстному времени число оборотовъ можетъ быть опредѣлено помощью часового механизма, который въ опредѣленные моменты времени придвигается и отодвигается головкою K. Далѣе, подъ каждой изъ крышекъ, находится по кольцу также просверленному, которыя помощью штифтовъ i_1, i_1, соотвѣтственно i_2, i_2, можно такъ расположить, что соотвѣтствующіе ряды отверстій крышки или сообщаются съ внутренностью цилиндра или закрываются; пользуясь слѣдовательно надлежащими штифтами i, можно дуть либо отдѣльно въ каждый любой изъ восьми рядовъ отверстій си-

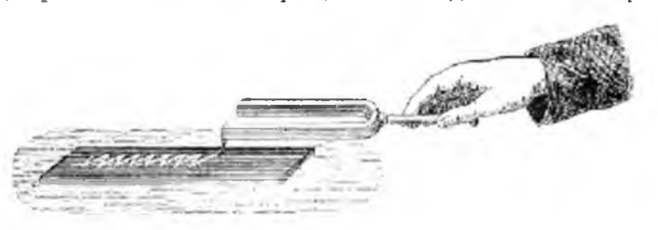
рены, либо одновременно въ два, три ряда, однимъ словомъ во всевозможныя комбинаціи отъ нихъ.

Если передвиженіемъ соотвѣтствующаго штифта i_2 открыть сперва рядъ съ восемью отверстіями въ нижнемъ цилиндрѣ, то при продуваніи чрезъ инструментъ слышны первоначально только отдѣльные толчки воздуха, которые при возрастаніи скорости вращенія слѣдуютъ другъ за другомъ все быстрѣе и быстрѣе, пока не начнутъ производить глухой звукъ, который становится выше и сильнѣе при увеличеніи скорости вращенія. Положимъ, скорость вращенія установилась такъ, что въ секунду имѣютъ мѣсто 33 оборота; тогда при одномъ оборотѣ будутъ происходить 8 толчковъ воздуха, въ одну секунду восемь разъ по 33 или 264 толчка воздуха; это число колебаній соотвѣтствуетъ $\bar{c}$ съ одной чертой нашей музыкальной шкалы. Если мы откроемъ рядъ съ 16 отверстіями, то при той же скорости вращенія произойдетъ 16 разъ по 33 или 528 толчковъ воздуха въ секунду, и мы услышимъ высшую октаву, слѣдовательно, получимъ $\bar{\bar{c}}$ съ двумя чертами нашей музыкальной шкалы; открывая одновременно оба ряда, мы услышимъ слѣдовательно созвучіе октавы; открывая одновременно два ряда съ восемью и двѣнадцатью отверстіями, числа которыхъ относятся, какъ 2 : 3, получимъ созвучіе квинты; открывая одновременно въ верхнихъ рядахъ девять и въ нижнихъ — 12 отверстій (3 : 4), мы получимъ созвучіе кварты и т. д.



246. Камертонъ.

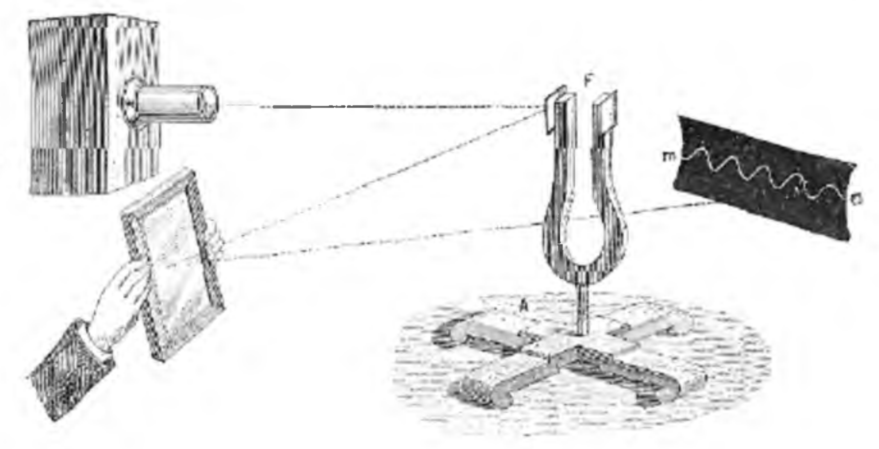
Предложенная Каньяръ де Латуромъ простая сирена имѣла только одинъ рядъ отверстій; Дове усовершенствовалъ ее, примѣнивъ четыре ряда отверстій, а Гельмгольцъ соединилъ двѣ сирены Дове въ одну вышеописанную двойную сирену. Послѣдняя снабжена еще однимъ приспособленіемъ, позволяющимъ приводить во вращеніе верхній цилиндръ, или въ направленіи вращенія диска d, или въ противоположномъ направленіи. Это производится помощью зубчатой передачи съ рукояткой F. Если при постоянной скорости вращенія въ то время, когда продуваютъ въ одинъ изъ рядовъ въ верхнемъ цилиндрѣ, вращать рукоятку F такъ, чтобы отверстія въ цилиндрѣ двигались въ направленіи, противоположномъ вращенію находящагося снизу диска, то очевидно, что отдѣльныя отверстія будутъ проходить одно мимо другого скорѣе, чѣмъ если бы цилиндръ C_1 былъ неподвиженъ. Тонъ, слѣдовательно, при этомъ вращеніи системы съ рукояткою выше, при противоположномъ — ниже, чѣмъ при неподвижности цилиндра. На этомъ дѣйствіи основывается извѣстное открытіе, подтвержденное опытнымъ путемъ впервые голландскимъ физикомъ Бейсъ-Балло, что при прочихъ равныхъ обстоятельствахъ свистокъ локомотива имѣетъ болѣе высокій тонъ, когда онъ приближается, а когда удаляется, болѣе низкій тонъ, чѣмъ если онъ стоитъ неподвижно. Въ первомъ случаѣ звуковыя волны, образуемыя свисткомъ, укорачиваются, такъ что въ данное время до нашего уха достигаетъ большее ихъ число, тогда какъ во второмъ случаѣ имѣетъ мѣсто обратное.


247. Записываніе колебаній камертона.

Мы знаемъ, впрочемъ, что для воспроизведенія музыкальнаго тона пригодно всякое упругое тѣло, которое быстро одинъ за другимъ слѣдующими періодическими колебаніями можетъ привести воздухъ разрѣженіемъ и сгущеніемъ въ соотвѣтственное волнообразное движеніе. Если ударить камертонъ или стеклянный колоколъ или провести по нимъ смычкомъ (рис. 246), то они звучатъ. Ударомъ или смычкомъ камертонъ и колоколъ приводятся въ колебанія, которыя совершаются затѣмъ равномѣрно и непрерывно велѣд-

ствіе упругости стали или стекла, и которыя легко можно видѣть и ощущать, если поднести ручку камертона къ зубамъ или касаться кончикомъ пальца края колокола; можно даже заставить камертонъ записывать его собственныя маятникообразныя колебанія, если на одну его вѣтвь прикрѣпить шпенекъ и, приведя камертонъ въ колебанія, провести прямую линію по закопченной стеклянной пластинкѣ (рис. 247). Если бы камертонъ не колебался, то тогда очевидно остріе при своемъ движеніи по закопченной пластинкѣ начертило бы на ней прямую линію. Но если камертонъ, а съ нимъ и записывающій шпенекъ колеблются, то на стеклянной пластинкѣ чертится волнообразная линія, называемая въ математикѣ синусоидой.

Для болѣе подробнаго изслѣдованія формы движенія звуковыхъ колебанія придуманы, въ особенности французскимъ физикомъ Лиссажу, способы, дѣлающіе возможнымъ представлять видимымъ образомъ колебанія камертона. Для этой цѣли на конецъ одной вѣтви камертона *A* (рис. 248) прикрѣплено



248. Обыкновенное изображеніе колебаній камертона.

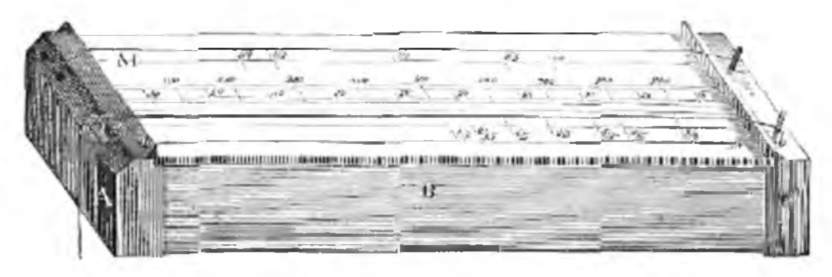
маленькое зеркало *F*, которое, пока камертонъ не колеблется, отражаетъ свѣтъ отъ сильно освѣщеннаго маленькаго круглаго отверстія въ видѣ маленькаго свѣтлаго круга. Это изображеніе можетъ быть принято на второе зеркало и отброшено имъ на экранъ т. п. Если теперь камертонъ приведенъ въ колебаніе, то вмѣсто свѣтящагося кружка получается вертикальная полоса свѣта до тѣхъ поръ пока второе зеркало сохраняетъ свое положеніе неизмѣннымъ. Но если вращать его такъ, чтобы отраженный имъ лучъ свѣта скользилъ по экрану слѣва направо, то вертикальная полоса свѣта переходитъ въ блестящую волнистую линію. Поставимъ теперь вмѣсто ручного зеркала второй камертонъ, одна вѣтвь котораго снабжена совершенно такъ же маленькимъ плоскимъ зеркальцемъ, но колеблющійся не въ томъ же направленіи, какъ первый, а подъ прямымъ угломъ къ нему, причемъ пусть онъ расположенъ горизонтально, тогда какъ вѣтви перваго стоятъ вертикально. Смотря по отношенію колебаній обоихъ камертоновъ, получаются такимъ образомъ кривыя весьма разнообразныя, которыя для математическаго изслѣдованія столько же интересны, сколько и важны.

Воздухъ можетъ быть приведенъ въ періодическія колебанія весьма различными средствами. Натянутая струна выводится насмоленнымъ смычкомъ изъ своего положенія покоя; она стремится опять вернуться въ него, смычокъ снова захватываетъ её, влечетъ её съ собой, пока она опять не отскочитъ, и такія движенія она совершаетъ сотни, даже тысячи разъ въ секунду, а каждое движеніе взадъ и впередъ вызываетъ вновь распростра-

кающуюся звуковую волну, которыя всѣ вмѣстѣ производятъ звукъ. Въ духовыхъ инструментахъ эту роль выполняютъ упругія губы или колеблющіеся язычки пружинки, листочки, которые приводятся въ движеніе сжатымъ при дутьѣ воздухомъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ — особенные разрывы потока воздуха, разсматривать которые мы будемъ позже имѣть случай.

Какъ ни отличаются другъ отъ друга музыкальные инструменты, будучи основаны на этихъ различныхъ причинахъ возникновенія звука, однако устройство ихъ основывается на извѣстныхъ общихъ физическихъ принципахъ, понятіе о которыхъ можетъ дать намъ монохордъ, самый простой изъ всѣхъ струнныхъ инструментовъ.

Монохордъ, по своему названію, долженъ состоять изъ одной струны, но обыкновенно онъ имѣетъ приспособленія для прикрѣпленія нѣсколькихъ струнъ; ради усиленія звука струна помѣщается на поломъ, сдѣланномъ изъ тонкаго упругаго дерева, ящикѣ, на такъ называемой резонансной доскѣ: она подпирается двумя кобылками и на одномъ концѣ закрѣпляется колкомъ, тогда какъ другой конецъ ея перекинутъ чрезъ блокъ и натягивается грузомъ. Подкладываніемъ маленькой подвижной деревянной кобылки струна



249. Монохордъ.

по желанію можетъ быть укорачиваема; на доскѣ имѣются дѣленія. На рис. 249 представленъ такой приборъ съ двумя струнами; въ этомъ видѣ онъ можетъ быть употребленъ съ удобствомъ для изслѣдованія законовъ колебанія. Если провести смычкомъ или задѣть пальцемъ по струнѣ въ ея серединѣ, то она уклоняется въ сторону и дѣлаетъ, какъ цѣлое, такъ называемыя поперечныя колебанія. Точка наибольшаго отклоненія лежитъ посрединѣ между обѣими неподвижными конечными точками (см. рис. 250), и мы слышимъ основной или самый низкій тонъ. Число колебаній зависитъ отъ длины, толщины, плотности и натяженія струны. Эта взаимная зависимость подчиняется простымъ законамъ. Измѣрять натяженіе всего удобнѣе навѣшиваніемъ гирь на тотъ конецъ струны, который перекинутъ чрезъ подвижной блокъ; при этомъ находитъ, что числа колебаній струны пропорціональны корнямъ квадратнымъ изъ натягивающихъ грузовъ. Если при нагрузкѣ въ 1 кг. струна дѣлаетъ въ секунду 64 колебанія, то при натяженіи въ 4 клг. она дѣлаетъ дважды 64 или 128 колебаній, при натяженіи въ 9 клг. — трижды 64 или 192 колебаній. Поэтому, если бы для полученія на струнѣ низкихъ и высокихъ тоновъ желали пользоваться только измѣненіемъ натяженія, то для высокихъ тоновъ должно было бы прибѣгнуть къ грузу очень значительному. Для того, чтобы не переступить нѣкотораго предѣла натяженія, приходится въ музыкальныхъ инструментахъ измѣнять другіе факторы, вліяющіе на высоту тона струны: толщину, длину, вещество. Числа колебаній струнъ изъ того же самаго матеріала при одинаковой длинѣ и одинаковомъ натяженіи относятся обратно (пропорціонально) ихъ толщинамъ. Поэтому пусть изъ двухъ струнъ того же самаго матеріала, той же длины, того же самаго натяженія одна вдвое толще другой; тогда въ то же

самое время болѣе тонкая дѣлаетъ вдвое больше колебаній. Далѣе число колебаній зависитъ отъ вещества, изъ котораго состоитъ струна, а именно отъ ея плотности. Двѣ одинаковой длины, толщины и одинаково натянутыя струны, изъ которыхъ одна изъ мѣди, другая изъ желѣза, даютъ тоны различной высоты. Въ струнахъ изъ различнаго матеріала числа колебаній при прочихъ равныхъ условіяхъ относятся обратно пропорціонально корнямъ квадратнымъ изъ ихъ удѣльныхъ вѣсовъ. Слѣдов., при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, струна, плотность которой составляетъ четверть плотности другой, даетъ тонъ октавою выше тона послѣдней.

Оба послѣднія предложенія можно высказать вмѣстѣ однимъ предложеніемъ: число колебаній струны обратно пропорціонально корню квадратному изъ ея вѣса. Поэтому на гитарѣ, фортепіано и т. под. толстыя струны, дающія самые низкіе тоны, бываютъ обвиты металлической проволокой, которая увеличиваетъ ихъ вѣсъ и замедляетъ колебанія.

На эти отношенія при обращеніи съ музыкальными инструментами, конечно, обращается меньше вниманія, нежели при ихъ изготовленіи. Въ скрипкахъ, віолончеляхъ, гитарахъ и другихъ музыкальныхъ инструментахъ, гдѣ натяженія струнъ находятся между собою въ опредѣленныхъ отношеніяхъ, кромѣ ихъ основного тона вызываются также болѣе высокіе тоны чрезъ укорачиваніе колеблющейся части.



250. **Колеблющаяся струна.**

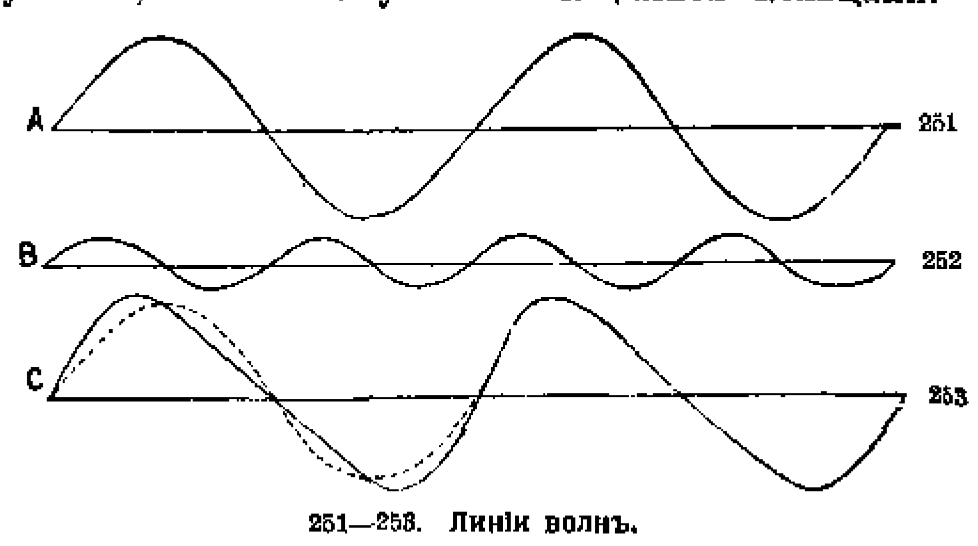
Струна тѣмъ быстрѣе колеблется, чѣмъ она короче. Если, напримѣръ, струна *ab* (см. рис. 249), колеблясь какъ цѣлое, дѣлаетъ 40 колебаній въ секунду, то она будетъ производить въ то же самое время 80 колеб., если укоротить колеблющуюся часть наполовину, поставивъ въ серединѣ подвижную кобылку; она будетъ совершать вчетверо больше колебаній, если эту половину еще раздѣлить пополамъ и т. д. Число колебаній струны, слѣд., находится въ обратномъ отношеніи къ ея длинѣ. При игрѣ на скрипкѣ прикладываніемъ пальцевъ къ различнымъ точкамъ струны можно производить цѣлый рядъ тоновъ со всѣми возможными промежуточными, ибо, дѣйствительно, палецъ, приложенный близъ кобылки, укорачиваетъ колеблющуюся струну, движеніе пальца къ головкѣ скрипки удлиняетъ струну. Свободная струна даетъ самый низкій, основной тонъ.

Таковы законы колебанія струны, выражающіе зависимость высоты тона отъ натяженія, вѣса и длины. Подобно тому, какъ всякій цвѣтъ, хотя онъ самъ по себѣ и не противенъ, но производитъ на нашъ глазъ болѣе или менѣе пріятное впечатлѣніе только въ сопоставленіи съ другими цвѣтами, также и тонъ самъ собою не представляетъ предмета эстетическаго наслажденія и не можетъ служить художнику; напротивъ того только изъ соединенія и сочетанія нѣсколькихъ тоновъ происходитъ понятный художнику языкъ музыкальнаго искусства, дѣйствующій на наше чувство такъ разнообразно и такъ дивно. Такое соотношеніе тоновъ, будетъ ли это соединеніе одновременно звучащихъ тоновъ, или духовное сопутствованіе и преемство только-что слышанныхъ тоновъ и музыкальныхъ фигуръ, ищетъ и находитъ свое естественное основаніе въ простыхъ математическихъ отношеніяхъ, въ которыхъ стоятъ другъ къ другу числа колебаній.

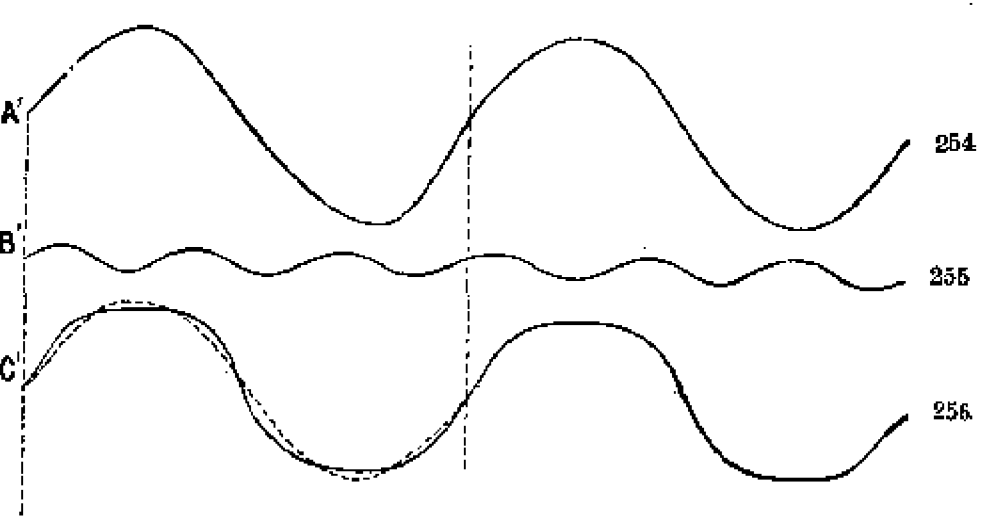
„Меня всегда привлекало, какъ удивительная и особенно интересная тайна, то обстоятельство“, говоритъ Гельмгольцъ въ своей рѣчи о физіологическихъ основаніяхъ музыкальной гармоніи, „что въ ученіи о тонахъ, въ физическихъ и техническихъ основаніяхъ музыки, которая между всѣми искусствами является, въ своемъ дѣйствіи на чувство, самою невещественною,

мимолетною и нѣжною виновницею неисчислимыхъ и неописуемыхъ настроенiй, именно здѣсь математика, наука самаго чистаго и послѣдовательнаго мышленiя, оказалась столь плодотворною".

Музыкальные интервалы и гаммы. Та форма движенiя, въ которой звукъ распространяется въ воздухѣ, есть, какъ мы уже видѣли, волнообразное движенiе, сущность котораго мы можемъ легко себѣ пояснить волнообразнымъ движенiемъ на поверхности воды. Если въ спокойный прудъ мы бросимъ камень, то увидимъ, какъ, начиная отъ точки сотрясенiя, къ берегу бѣгутъ волны круглыми, постоянно увеличивающимися кольцами. Мы можемъ различать въ рядѣ волнъ наивысшiя и наинизшiя мѣста, гребни и впадины. Гребень и впадина образуютъ одну волну, и длину волны мы считаемъ отъ одного гребня до ближайшаго слѣдующаго. Частицы воды, изъ которыхъ состоитъ волна, не распространяются съ нею, напротивъ, онѣ описываютъ, каждая на своемъ мѣстѣ, съ равномѣрною скоростью замкнутыя, вертикальныя орбиты, между тѣмъ какъ распространяется только форма поверхности. Представимъ себѣ, что вслѣдъ за первымъ камнемъ, а именно въ моментъ, когда частицы воды совершили одинъ оборотъ, брошенъ какъ разъ въ то же самое мѣсто еще второй камень, который можетъ образовать кольца двойной скорости; тогда этимъ значительно не нарушится правильный ходъ первыхъ болѣе длинныхъ волнъ. Ихъ начало и конецъ будутъ опредѣляться началомъ и концомъ болѣе короткихъ волнъ, точки наибольшаго удаленiя — гребни и впадины волны — будутъ нѣсколько сдвинуты и лежать выше или соотвѣтственно ниже, такъ какъ въ этихъ мѣстахъ дѣйствiя одного и того же направленiя складываются. Кривыя волнъ A и B (рис. 251 и 252) можно разсматривать, какъ вертикальныя сѣченiя обоихъ рядовъ волнъ, изъ которыхъ B въ одинаковое время совершаетъ вдвое больше колебанiй, чѣмъ A. Результатъ сложенiя двухъ одновременно идущихъ рядовъ волнъ можетъ быть представленъ кривою C (рис. 253); сравненiя ея съ обозначенной рядомъ точками кривою A показываетъ, какимъ образомъ она образуется наложенiемъ одного на другого рядовъ волнъ. Но если въ то время, когда первый камень образуетъ двѣ волны, второй производитъ ихъ три, то точки совпаденiя всегда будутъ наступать только послѣ двухъ большихъ волнъ, внутри же этого промежутка оба ряда волнъ нарушаются значительнѣе, нежели прежде. Пусть эти оба ряда волнъ представлены на рисункѣ двумя кривыми A', B' (рис. 254 и 255), одновременное дѣйствiе которыхъ даетъ кривую C' (рис. 256). Чѣмъ сложнѣе будетъ отношенiе



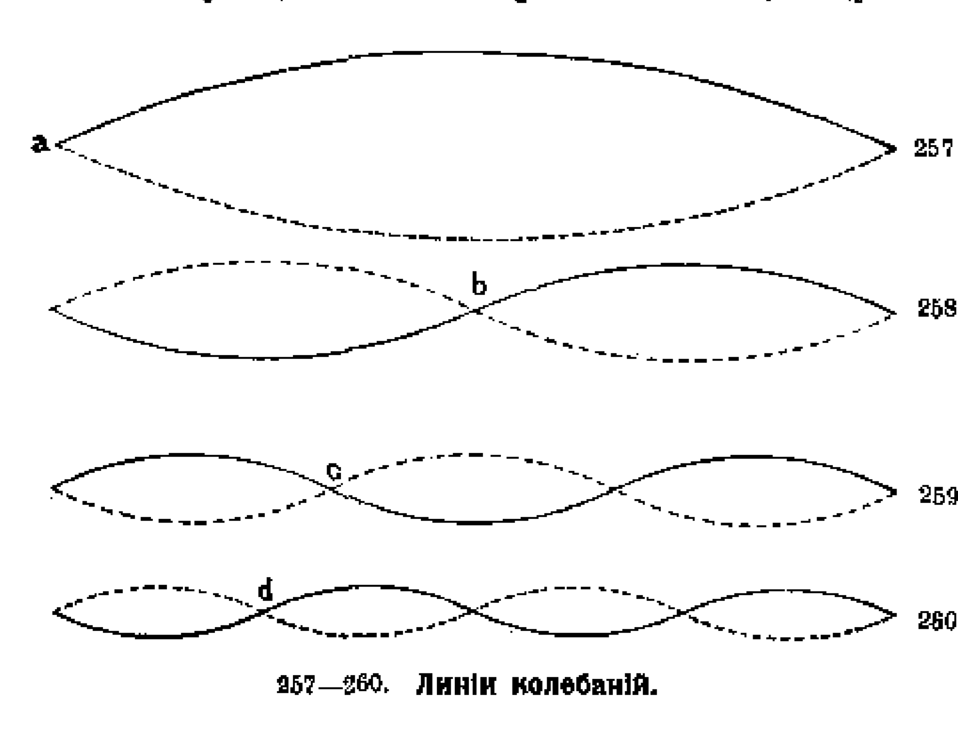
251—253. Линiи волнъ.



254—256. Линiи волнъ.

между собою обоихъ рядовъ волнъ, тѣмъ запутаннѣе является поверхность воды, и соотвѣтственно этому, также и ударъ о берегъ. Наше же ухо есть нѣкоторымъ образомъ берегъ, о который бьютъ кольца звуковыхъ волнъ, и тѣ же взаимныя вліянія, которыя оказываютъ другъ на друга двѣ водяныя волны, находятъ мѣсто также въ ходѣ воздушныхъ волнъ и ощущаются слуховыми нервами.

Французскій математикъ Фурье доказалъ важную теорему, что всякая любая форма волны длины волны n можетъ быть составлена или разложена на нѣкоторое число простыхъ волнъ длинъ n, $^1/_2\ n$, $^1/_3\ n$, $^1/_4\ n$ ......; и нѣмецкій физикъ Г. С. Омъ, открывшій столь важный въ ученіи объ электричествѣ названный по его имени законъ Ома, внимательно наблюдая, нашелъ, что ухо человѣка въ дѣйствительности можетъ произвести таковое разложеніе совокупности звуковъ, что оно въ состояніи формы волнъ, составленныхъ изъ массы звуковъ, разложить на сумму простыхъ волнъ, и тонъ, соотвѣтствующій каждой простой волнѣ, ощущаетъ отдѣльно.



257—260. **Линіи колебаній.**

Если, напримѣръ, мы приводимъ въ движеніе струну, то слышимъ звукъ, форма волнъ котораго сильно отступаетъ отъ формы волны простого тона, какъ его даетъ напримѣръ ударенный камертонъ. Именно, струна колеблется не только, какъ цѣлое (рис. 257), но и въ двухъ, трехъ, четырехъ, пяти и т. д. частяхъ (рис. 258 — 260), и можно тоны, соотвѣтствующіе этимъ колебаніямъ, сдѣлать слышимыми въ отдѣльности, если струну привести въ движеніе и при этомъ слегка касаться пальцемъ въ ея срединѣ или трети, четверти, пятой части и т. д. ея длины. При достаточной внимательности наше ухо можетъ слышать въ звукѣ струны отдѣльно всѣ эти тоны. Мы позже будемъ имѣть случай говорить еще о такъ называемыхъ обертонахъ, которые обусловливаютъ оттѣнокъ звука.

Музыкальные звуки распредѣлены по числамъ ихъ колебаній, названы буквами и обозначены нотами. Исходную точку образуетъ такъ называемый камертонъ, число колебаній котораго по Шейблеру есть 440, и называется a съ чертою или a_1. На нотахъ это есть тонъ . Изъ него можно вывести числа колебаній всѣхъ другихъ звуковъ при помощи извѣстныхъ численныхъ отношеній музыкальныхъ интерваловъ.
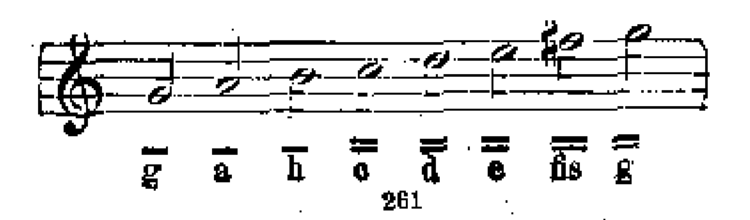
Характеръ созвучія двухъ тоновъ тѣмъ пріятнѣе для насъ и благозвучнѣе, чѣмъ проще то отношеніе, въ которомъ стоятъ другъ къ другу ихъ числа колебаній или, что то же самое, чѣмъ равномѣрнѣе и спокойнѣе ходъ соотвѣтствующихъ рядовъ волнъ; отношеніе двухъ тоновъ, числа колебаній которыхъ относятся, какъ 1 : 2, есть наипростѣйшее, если не считать отношеніе колебаній 1 : 1, такъ называемый „унисонъ“. Это отношеніе обозначается на языкѣ музыки названіемъ октава. Промежутокъ между двумя тонами въ отношеніи чиселъ ихъ колебаній вообще называется ихъ интерваломъ. Наше ухо ощущаетъ октаву, какъ весьма гармоническій интервалъ, по качеству оба тона звучатъ одинаково, и всевозможные интервалы

относятъ къ интервалу 1:2. Его можно получить на монохордѣ, если подвижную кобылку поставить такъ, чтобы направо оставалось $^2/_3$ струны, налѣво $^1/_3$; болѣе длинная часть даетъ низшій тонъ, болѣе короткая — высшую октаву. Если кобылку помѣстить такъ, чтобы направо было $^3/_5$ струны, налѣво $^2/_5$, тогда числа колебаній относятся, какъ 2:3, и мы получаемъ слѣдующій простой интервалъ, квинту. Отношеніе чиселъ колебаній 3:4 называется квартой, 4:5 большою терціей, 5:6 малою терціей, 3:5 большой секстой, 5:8 малой секстой, отношеніе 8:15 — септимой.

Съ теченіемъ времени въ силу музыкальныхъ потребностей народы пріучились примѣнять для своихъ болѣе и болѣе утонченныхъ цѣлей все болѣе сложныя отношенія, такъ что до нашего времени постепенно образовалась гамма въ семь ступеней между двумя октавами, интервалы которыхъ находятся въ слѣдующихъ отношеніяхъ къ основному тону въ 24 колебанія:

1	2	3	4	5	6	7	8
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Дроби, стоящія внизу, даютъ отношенія чиселъ колебаній къ основному тону. Въ основаніи этой гаммы лежатъ простые интервалы, основной тонъ квинта, кварта, большая терція, секста и октава. Квинта и большая терція звучатъ явственно у большинства тоновъ, какъ первые изъ различныхъ интерваловъ въ высшихъ гармоническихъ тонахъ; они въ самостоятельномъ соединеніи съ основнымъ тономъ образуютъ наипростѣйшій гармоническій эффектъ, мажорное трезвучіе или мажорный аккордъ. Остальные интервалы между основнымъ тономъ и большой терціей, секстою и октавою получаются, если на квинтѣ, какъ на тонѣ, наиболѣе родственномъ основному тону, построить новое трезвучіе (основной тонъ, терція и квинта) и взять его квинту октавою ниже.



261

На рис. 261 дана на нотахъ гамма *G-dur* съ названіемъ отдѣльныхъ тоновъ.

Рядомъ съ большою терціей 4:5 отличается малая терція особенною простотой отношенія колебаній 5:6; поэтому она стала исходной точкой минорной гаммы.

Въ мажорной гаммѣ переходъ отъ терціи къ квартѣ и отъ септимы къ октавѣ меньше, нежели у другихъ интерваловъ; эти интервалы называются полутонами, такъ какъ между остальными цѣлыми тонами можно вставить еще по одному подобному интервалу. Слѣдованіе полутонами даетъ хроматическую гамму. Къ сожалѣнію въ этомъ мѣстѣ мы не можемъ ближе входить въ изложеніе этой чисто музыкальной области. Замѣтимъ еще только то, что на употребительную теперь систему тоновъ съ ея мажорными и минорными гаммами нельзя смотрѣть какъ на единственно возможную, какъ бы ни было просто и послѣдовательно ея построеніе. Нашъ собственный методъ образованія произвелъ то же самое. Если намъ не нравится музыка другихъ народовъ, возросшихъ въ иныхъ воззрѣніяхъ и съ иными направленіями вкуса, то конечно мы не имѣемъ права смотрѣть на нее, какъ на безусловно некрасивую, хотя все-таки то, что насъ въ музыкальныхъ формахъ удовлетворяетъ и услаждаетъ, основывается, какъ кажется, на нѣкоторыхъ естественныхъ основныхъ законахъ, которые зависятъ отъ всей нашей организаціи. Весьма мѣтко говоритъ извѣстный музыкальный писатель Ганслихъ: „Всѣ музыкальные элементы находятся между

собою въ таинственныхъ, основанныхъ на законахъ природы, сочетаніяхъ и сродствѣ. Это сродство, невидимо управляющее ритмомъ, мелодіей и гармоніей, требуетъ въ музыкѣ ихъ соблюденія и на каждое имъ противорѣчащее *сочетаніе налагаетъ клеймо произвола и безобразія. Оно существуетъ,* хотя и не въ формѣ научнаго сознанія, инстинктивно въ каждомъ развитомъ ухѣ, которое, слѣдовательно, однимъ только ощущеніемъ въ группѣ тоновъ различаетъ органическое, сообразное съ здравымъ разсудкомъ отъ нелѣпаго, неестественнаго, причемъ логическое понятіе не даетъ для сего мѣрила или tertium comparationis. Въ этой внутренней отрицательной разумности, которая вслѣдствіе естественныхъ законовъ присуща системѣ тоновъ, коренится дальнѣйшая способность развивать положительныя красоты“.



266. Германъ Гельмгольцъ.

Физіологическая основа теоріи музыки классически воспроизведена Гельмгольцемъ, въ его „Ученіи о звуковыхъ ощущеніяхъ“, въ которомъ соединяются не только пограничныя области физической и физіологической акустики, но и музыкальной науки и эстетики, и которое служитъ отличнымъ руководствомъ къ практическому изученію устройства инструментовъ и обращенію съ музыкальными инструментами.

Гельмгольцовская теорія оттѣнка звука. Тонъ опредѣленной высоты *звучитъ для насъ различно,* смотря по тому, слышимъ ли мы его спѣтымъ пѣвицей или онъ извлеченъ изъ скрипки или флейты. Въ чемъ заключается то отличіе, которое позволяетъ намъ вѣрно узнавать, произведенъ ли тонъ человѣческимъ голосомъ или скрипкой или флейтой? Фактъ, что звукъ человѣческаго голоса, скрипичной струны, флейты сопровождается извѣстнымъ сочетаніемъ обертоновъ, число и сила которыхъ различны для различныхъ музыкальныхъ инструментовъ. Эти обертоны обусловливаютъ оттѣнокъ звука, и имъ соотвѣтствуетъ опредѣленная форма колебанія и волны. Мягкость *простыхъ тоновъ, какъ ихъ, напримѣръ, даетъ камертонъ, зависитъ отъ отсутствія обертоновъ,* формы ихъ колебаній суть простыя, равномѣрно закругленныя синусоиды, рѣзкій звукъ скрипичной струны происходитъ отъ того, что въ немъ содержится много обертоновъ, и что соотвѣтственная форма колебанія сложна, болѣе или менѣе прерывиста.

Въ этомъ отношеніи такъ называемые тоны флажолета струнныхъ инструментовъ даютъ намъ случай къ интереснымъ наблюденіямъ. Они, какъ извѣстно, гораздо *выше того тона, который соотвѣтствуетъ колебанію*

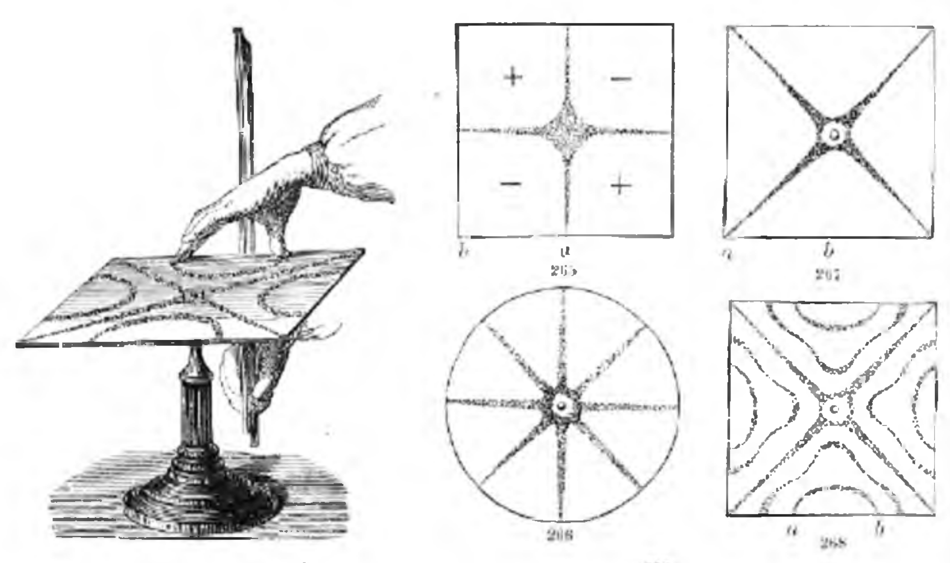
струны всей ея длиной, и получаются, если пальцемъ или перомъ легко касаться струны въ той точкѣ, которая отдѣляетъ $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ и т. д. ея часть, и затѣмъ привести струну въ звучанiе смычкомъ. Если касанiе достаточно легко, такъ что, хотя соотвѣтственная точка остается въ покоѣ, но колебанiя могутъ еще сообщаться остальной струнѣ, то струна во всякомъ случаѣ колеблется по всей своей длинѣ, но не какъ цѣлое, а отдѣльными отрѣзками, равными между собою и опредѣляемыми разстоянiемъ неподвижно удерживаемой точки отъ ближайшаго конца. Конечныя точки такой колеблющейся части струны остаются въ покоѣ и называются **узлами**. Если, слѣд., легко пальцемъ или перомъ коснуться струны монохорда въ одной трети ея длины, и затѣмъ, проводя смычкомъ по болѣе короткой части, привести струну въ колебанiя, то колеблется не только эта, но также и бóльшая часть, которая дѣлится на двѣ колеблющiяся пучности (выпуклости), раздѣленныя одна отъ другой одною узловою точкою. Такимъ образомъ мы получаемъ кромѣ точки касанiя, которая также образуетъ узловую точку и остается въ покоѣ, вторую узловую точку. Если коснуться струны въ четверти ея длины и провести смычкомъ по болѣе короткой части, то не только эта приходитъ въ колебанiя, но и болѣе длинная часть струны дѣлится на три отрѣзка, на три пучности, раздѣленныя между собою двумя узлами. Можно легко сдѣлать это видимымъ, помѣщая маленькiя бумажки на узлахъ и пучностяхъ. Когда струна приведена въ колебанiя, то бумажки на узловыхъ точкахъ остаются спокойно сидѣть, тогда какъ въ промежуточныхъ мѣстахъ колеблющейся части струны онѣ сбрасываются. Когда мы касаемся струны и проводимъ смычкомъ въ пятой, шестой, седьмой и т. д. частяхъ ея длины, то мы получаемъ форму колебанiя съ пятью, шестью, семью и т. д. пучностями, которыя отдѣляются одна отъ другой четырьмя, пятью, шестью и т. д. узловыми точками. Итакъ, мы видимъ, что струна или можетъ колебаться какъ цѣлое или дѣлится на нѣкоторое число равныхъ частей, изъ которыхъ каждая совершаетъ свои колебанiя независимо отъ другихъ. Въ музыкѣ это самостоятельное дѣленiе струны имѣетъ много примѣненiй.



263. Хладни.

Узлы возникаютъ не только при колебанiи струнъ, но также и при колебанiи стержней, закрѣпленныхъ однимъ концомъ, какъ это имѣетъ случай въ гармоникѣ изъ стержней, далѣе при колебанiи стержней съ двумя свободными концами, какъ напр. въ стеклянной гармоникѣ, и наконецъ въ камертонѣ, который можно разсматривать какъ изогнутый U-образно стержень. Хладни, котораго съ полнымъ правомъ можно считать отцомъ новѣйшей аку-

стики, опытно изслѣдовалъ формы колебанія и звуковыя отношенія не только такихъ стержней, но и колеблющихся перепонокъ и пластинокъ. Онъ впервые нашелъ, что пластинки изъ стекла или металла даютъ различные тоны, если ихъ держать въ различныхъ мѣстахъ и ударять или проводить по нимъ въ разныхъ мѣстахъ. Онъ также впервые предложилъ остроумный способъ дѣлать видимыми колебанія и узловыя линіи пластинокъ тѣмъ, что онъ посыпалъ пластинку мелкимъ пескомъ, который колеблющимися частями пластинки сбрасывается, и такимъ образомъ обозначаетъ узловыя линіи. Рис. 264 дѣлаетъ нагляднымъ способъ воспроизведенія хладніевыхъ фигуръ. Квадратная латунная пластинка закрѣплена въ ея срединѣ на прочномъ штативѣ. Если посыпать на нее мелкаго песку и, нажавъ двумя пальцами въ двухъ точкахъ одной изъ ея сторонъ, помощью смычка привести ее въ колебаніе, то зернышки песка начинаютъ быстро подскакивать во всѣхъ колеблющихся точкахъ пластинки, вслѣдствіе чего они скоро образуютъ правильныя фигуры
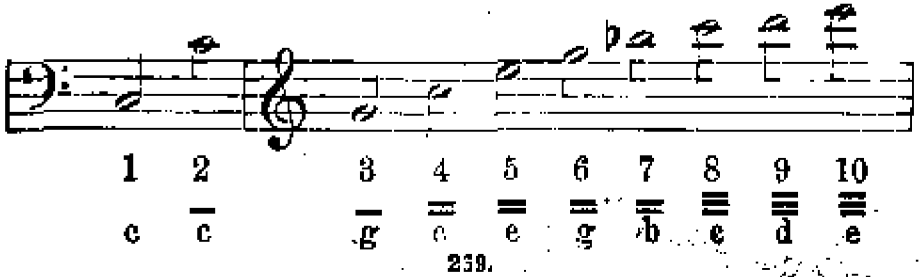


264. Хладніевы звуковыя фигуры. 265—268. Тоже.

въ тѣхъ частяхъ, которыя не участвуютъ въ колебательномъ движеніи. Форма колебанія и, слѣд., также видъ фигуры мѣняются въ зависимости отъ того, гдѣ касаться пластинки и гдѣ проводить по ней смычкомъ. Рис. 265 получается на квадратной пластинкѣ, закрѣпленной въ ея срединѣ, если прижать точку *a* и проводить по пластинкѣ близъ одного изъ ея угловъ, напр. въ *b*. Знаки + и — означаютъ, что части со знакомъ + при колебаніи движутся въ направленіи, противоположномъ тому, въ которомъ движутся части, обозначенныя знакомъ —, такъ что послѣднія части слѣд. колеблются внизъ, въ то время какъ первыя вверхъ, и наоборотъ. Узловыя линіи образуютъ границы этихъ противоположныхъ движеній. Рис. 267 получается, если касаться пластинки около угла въ *a*, и проводить посрединѣ въ *b*. Сложную фигуру 268 получаютъ, если держать одну сторону пластинки въ точкахъ *a* и *b* и проводить по ней въ срединѣ противолежащей стороны. Хладни изслѣдовалъ также фигуры другихъ симметрично образованныхъ дисковъ. Зажатый въ срединѣ круглый дискъ, если его держать въ нѣкоторой точкѣ окружности и провести смычкомъ въ точкѣ, удаленной отъ первой на 45 градусовъ, колеблется въ четырехъ симметричныхъ частяхъ, которыя раздѣляются между собою двумя узловыми линіями (два взаимно перпендику-

лярные діаметры). Эта форма колебанія соотвѣтствуетъ самому низкому тону пластинки. Если проводить по ней въ точкѣ, которая удалена на 30 градусовъ отъ точки касанія, то она колеблется въ шести симметричныхъ частяхъ, раздѣленныхъ между собою радіальными узловыми линіями. Рис. 266 представляетъ фигуру, которая получается на круглой пластинкѣ, зажатой посрединѣ, если касаться нѣкоторой точки ея окружности и проводить по пластинкѣ въ точкѣ, удаленной отъ точки касанія приблизительно на 22 градуса. Пластинка дѣлится на восемь колеблющихся частей, раздѣленныхъ одна отъ другой (по радіусамъ) радіальными узловыми линіями.

То, что мы намѣренно вызывали въ установкѣ нашего опыта, при колебаніи струны происходитъ и само собою. Струна не можетъ колебаться, какъ цѣлое, безъ того, чтобы одновременно не колебаться частями въ большемъ или меньшемъ числѣ. Вызываемые послѣдними болѣе высокіе тоны называются **обертонами** или **тонами**, сопровождающими основной тонъ. Простой, несмѣшанный тонъ нельзя получить почти ни на одномъ музыкальномъ инструментѣ. Ихъ тоны суть смѣсь основного съ болѣе высокими тонами, и въ зависимости отъ степени и рода этого смѣшенія стоитъ отличительная особенность звука опредѣленнаго инструмента, его оттѣнокъ, его тембръ. Если бы скрипачъ захотѣлъ извлечь основной или другой тонъ скрипки, чистыми, безъ сопутствующихъ тоновъ, онъ не могъ бы этого сдѣлать. Какъ бы твердо и увѣренно онъ ни бралъ бы тонъ, какъ бы искусно ни владѣлъ смычкомъ, всегда болѣе или менѣе сильно звучатъ другіе тоны, вслѣдствіе того, что струна сама собою дѣлится подобно тому, какъ при тонахъ флажолета, или другія составныя части инструмента приходятъ въ колебанія, также вѣроятно вслѣдствіе того, что отъ неодинаковаго возбужденія струны вдоль всей ея длины идутъ небольшія волнообразныя закручиванія. Всѣ эти тоны соединяются въ общій звукъ, который для скрипичной струны имѣетъ свою особенность и сильно отличается числомъ и силой своихъ обертоновъ отъ звука одинаковой высоты кларнета, или флейты, или фортепіано.



269.

Обертоны приведеннаго въ колебанія упругаго тѣла находятся въ простой закономѣрной зависимости отъ ихъ основного тона; числа ихъ колебаній вдвое, втрое, вчетверо, впятеро, и т. д. больше, чѣмъ числа колебаній основного тона. Если послѣдній мы назовемъ *c*, то ихъ порядокъ на тонахъ слѣдующій (см. нотный примѣръ 269).

Сила обертоновъ въ звукѣ ударенной струны зависитъ отъ **природы матеріала**, изъ котораго она состоитъ, отъ ея толщины и *натянутости*, далѣе отъ рода удара и наконецъ главнымъ образомъ отъ мѣста удара. Кишечныя струны, такъ какъ они легче, даютъ болѣе высокіе обертоны, нежели металлическія струны одинаковой толщины и крѣпости. Но такъ какъ кишечныя струны менѣе упруги, то въ нихъ обертоны быстрѣе затихаютъ, и поэтому звукъ кишечныхъ струнъ, напр. въ гитарѣ и арфѣ, не такъ звонокъ, какъ звукъ металлическихъ струнъ, напр. въ цитрѣ. Болѣе толстыя металлическія струны даютъ не такіе высокіе обертоны, какъ болѣе тонкія.

Что касается до **рода удара**, то можно струну задѣвать пальцемъ или штифтикомъ, какъ напр. въ арфѣ, гитарѣ и цитрѣ, или ее можно ударять молоткомъ, какъ въ фортепіано. При задѣваніи пальцемъ разрывъ непрерывности въ движеніи струны не столь рѣзокъ и угловатъ, какъ при задѣваніи штифтикомъ; поэтому въ послѣднемъ случаѣ слышатъ болѣе рѣзкій звукъ съ болѣе высокими обертонами, чѣмъ въ первомъ. При ударѣ струны мягкимъ

молоточкомъ разрывъ непрерывности движенія и соотвѣтствующее ему число и сила высокихъ обертоновъ сильно уменьшаются, чрезъ что звукъ становится мягче и благозвучнѣе.

Наконецъ существенное вліяніе на оттѣнокъ звука имѣетъ мѣсто удара. Если задѣть струну монохорда въ ея срединѣ, то слышенъ глухой невнятный звукъ ея; если задѣть ее въ трети ея длины, то звукъ мѣняется, онъ становится полнѣе; если задѣть ее въ четверти ея длины, то оттѣнокъ звука опять измѣняется; звукъ становится тѣмъ богаче и полнѣе, чѣмъ дальше отъ середины лежитъ мѣсто удара.

Ѳома Юнгъ, знаменитый англійскій физикъ, основатель волнообразной теоріи свѣта, впервые узналъ причину разницы оттѣнковъ звука при колебаніи одной и той же струны. Онъ доказалъ, что если ударять струну или дергать ее или, какъ прибавляетъ Гельмгольцъ, провести по ней въ такой точкѣ ея длины, которая есть узловая точка одного изъ ея тоновъ флажолета, тогда всѣ тѣ простыя формы колебанія струны, которыя имѣютъ узелъ въ точкѣ удара, не содержатся въ результирующей формѣ колебанія струны, такъ что, слѣд., и въ общемъ звукѣ недостаетъ всѣхъ болѣе высокихъ обертоновъ, для которыхъ точка удара есть узловая точка. Поэтому, если мы задѣнемъ струну въ ея срединѣ, то въ общемъ звукѣ будетъ отсутствовать второй, четвертый, шестой .... короче говоря,



270. Томасъ Юнгъ.

всѣ четные обертоны, потому что всѣ они имѣютъ въ срединѣ струны узловую точку. Если мы задѣнемъ струну въ одной трети ея длины, то въ общемъ звукѣ будутъ отсутствовать третій, шестой, девятый.... обертоны; если дернуть въ одной четверти ея длины, то будетъ недоставать четвертаго, восьмого, двѣнадцатаго... обертона и т. д. Легко доказать это опытнымъ путемъ. Именно, если мы слегка коснемся колеблющейся струны пальцемъ или перышкомъ, то затухаютъ всѣ тѣ простыя формы колебанія или соотвѣтствующіе имъ обертоны, которые въ точкѣ касанія не имѣютъ узловъ, но тѣ обертоны, для которыхъ точка касанія есть узелъ, остаются и не затухаютъ. Итакъ, если мы дернемъ струну въ ея срединѣ и непосредственно за этимъ коснемся ея въ томъ же самомъ мѣстѣ, то основной тонъ уничтожится, и также не слышна будетъ ни одна изъ высшихъ его октавъ; струна не звучитъ, какъ доказательство того, что благодаря удару въ срединѣ исчезли обертоны, числа колебаній которыхъ въ два, четыре, шесть разъ и т. д. болѣе числа колебанія основного тона, т.-е. всѣ четные обертоны, имѣющіе узелъ въ срединѣ.

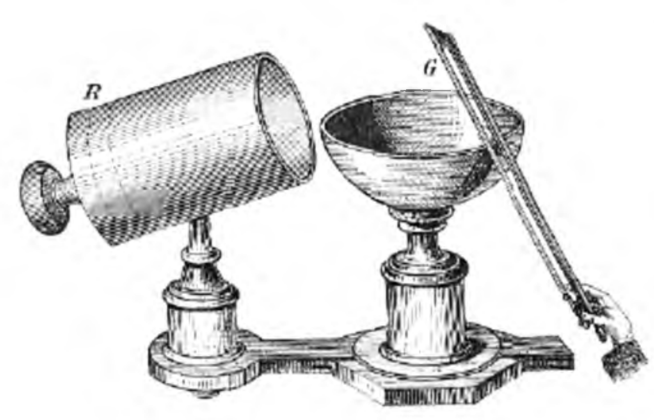
Если дернемъ струну въ $^1/_4$ ея длины и непосредственно за этимъ коснемся въ срединѣ, то основной тонъ уничтожается, но его октава звучитъ явственно. Такъ какъ струну задѣли не въ серединѣ, то тамъ образуется узелъ, и обѣ половины струны продолжаютъ колебаться послѣ того, какъ колебанie струны, какъ цѣлаго, уничтожено. Если дернуть струну въ $^1/_3$ ея длины и непосредственно за этимъ коснуться ея въ $^1/_3$ или $^2/_3$, то струна не звучитъ, какъ доказательство того, что отсутствуетъ третій частный тонъ; если бы онъ существовалъ, то отъ прикосновенія онъ не исчезъ бы, такъ какъ въ $^1/_3$ и $^2/_3$ длины струны лежатъ его узловыя точки. Напротивъ того, если мы задѣнемъ струну въ другой точкѣ, напр., въ $^1/_5$ длины, и непосредственно затѣмъ коснемся въ $^1/_3$, то мы услышимъ, что за основнымъ тономъ звучитъ и третій частный тонъ. Такъ какъ струны въ $^1/_3$ не задѣвали, то тамъ образуется узелъ, и струна, послѣ того какъ она перестала колебаться, какъ цѣлое, колеблется далѣе тремя частями своими. Такъ можно подтвердить опытнымъ путемъ справедливость закона Ѳомы Юнга и анализировать струнный тонъ въ отношеніи къ обертонамъ.

Кажется страннымъ, что музыкально развитое ухо не въ состояніи тотчасъ же слышать эти простые тоны въ общемъ звукѣ струны, хотя они постоянно существуютъ въ немъ! Однако Гельмгольцъ показалъ, что это зависитъ только отъ недостатка навыка и вниманія, и что при напряженномъ вниманіи ихъ можно различать также и въ общемъ звукѣ, если предварительно сдѣлать слышимыми вышеописаннымъ способомъ простые тоны въ отдѣльности.

Вліяніе, которое оказываетъ мѣсто удара на оттѣнокъ звука, представляетъ выдающійся интересъ не только для теоріи оттѣнка звука, но оно находитъ также важное практическое примѣненіе при устройствѣ музыкальныхъ инструментовъ. У среднихъ струнъ фортепіано мѣсто удара молоточка лежитъ отъ конца струны въ разстояніи $^1/_7$—$^1/_9$ ея длины. Мы должны вмѣстѣ съ Гельмгольцемъ принять, что инструментные мастера выбрали это мѣсто удара, руководствуясь менѣе теоріей, нежели требованіями художественно развитаго уха и техническимъ опытомъ двухъ столѣтій, такъ какъ оно даетъ въ музыкальномъ отношеніи самый прекрасный звукъ, и именно потому, что седьмой и девятый частные тоны звука отсутствуютъ или бываютъ, по крайней мѣрѣ, очень слабы. Шесть первыхъ частныхъ тоновъ образуютъ только октавы квинты и большія терціи основного тона, тогда какъ седьмой образуетъ малую септиму и девятый большую секунду основного тона, которыя не подходятъ къ мажорному трезвучію; онѣ дѣйствуютъ, какъ диссонансы, поэтому и устраняются выборомъ того мѣста удара.

Резонансъ. Когда мы ударяемъ обыкновенный камертонъ, то слышимъ его тонъ ясно только тогда, если держимъ его вблизи уха. Количество движенія, сообщаемое камертономъ воздуху, слишкомъ ничтожно, чтобы можно было его еще вполнѣ ощущать на большемъ разстояніи. Если же мы держимъ камертонъ надъ высокимъ сверху открытымъ сосудомъ и вливаемъ въ него по возможности безъ шума воду, вслѣдствіе чего укорачивается находящійся подъ камертономъ столбъ воздуха, то тонъ возрастаетъ въ силѣ до нѣкотораго максимума, пока вода не достигнетъ извѣстной высоты; если затѣмъ надъ этимъ уровнемъ мы прильемъ еще воды, звукъ дѣлается опять слабѣе. Повторяя опытъ съ камертонами, числа колебаній которыхъ больше или меньше, находятъ, что максимумъ усиленія звука имѣетъ мѣсто при болѣе длинномъ, соотвѣтственно, болѣе короткомъ столбѣ воздуха. Это явленіе усиленія звука называютъ резонансомъ, и найдено, что максимумъ резонанса соотвѣтствуетъ столбу воздуха, длина котораго есть ровно четверть длины волны тона, даваемаго камертономъ. Длины резонансныхъ ящиковъ, приготовляемыхъ изъ тонкаго, упругаго дерева, на которыхъ укрѣпляются камертоны, выбираютъ, сообразуясь съ этимъ закономъ.

Явленіе резонанса удобно демонстрировать помощью колокола Савара (рис. 271). Онъ состоитъ изъ металлическаго колокола *G*, покоющагося на тяжелой подставкѣ, и изъ выдвижной металлической трубы *R*, закрытой съ одного конца. Если по колоколу провести смычкомъ, то получается чистый, ясный звукъ, который усиливается, если трубу приближать къ колоколу, и сила котораго достигаетъ максимума, если дать трубѣ длину, соотвѣтствующую собственному тону колокола, т. е. если длина трубы будетъ четверть длины волны тона, издаваемаго колоколомъ. Если бы резонансная трубка была открыта съ обѣихъ сторонъ, то для полученія наиболѣе сильнаго резонанса ея длина должна бы быть вдвое больше.



271. Колоколъ Савара.

Многія интересныя усиленія звука, которыя мы ощущаемъ въ природѣ, суть слѣдствія резонанса, напр., шумы, которые мы слышимъ, если держимъ плотно около уха полую раковину; оглушающій, подобный грому шумъ водопада Reussfall у Чортова моста на Сенъ-Готардской дорогѣ происходитъ отъ резонанса въ узкомъ и глубокомъ ущельи, окруженномъ огромными скалами.

Одновременныя колебанія и звучанія одинаково настроенныхъ инструментовъ есть также явленія резонанса. Если изъ двухъ одинаково
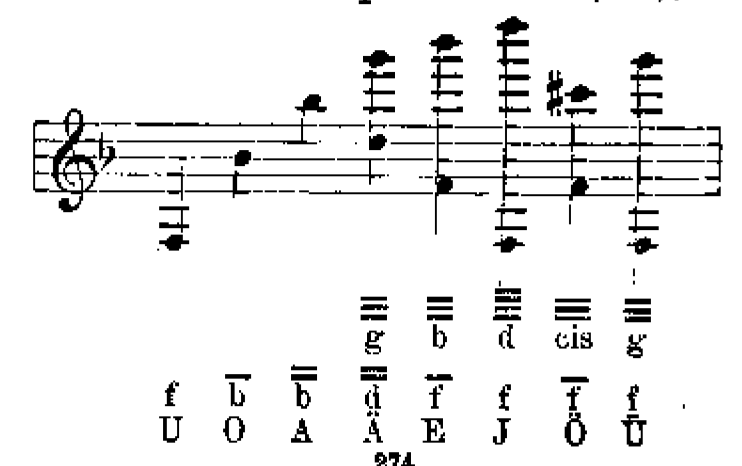


272 и 273. Отзвукъ камертоновъ.

настроенныхъ струнъ одну привести въ звучаніе, то тотчасъ же звучитъ и другая. Если нажатіемъ на клавишу поднять демпферъ у фортепіанной струны и при открытой крышкѣ пропѣть въ фортепіано соотвѣтственный тонъ, то слышно, какъ продолжаетъ звучать тотъ же самый тонъ. Только первоначально раздается нѣсколько смѣшанный шумъ, происходящій вслѣдствіе звучанія большого числа струнъ, приводимыхъ въ сотрясенія колебаніями воздуха. Но въ этомъ шумѣ рѣзко выдѣляется тонъ, однородный съ пропѣтымъ, и еще продолжаетъ звучать, когда другія струны совершенно замолкаютъ; потому что съ каждымъ колебаніемъ струны совпадаетъ коле-

баніе воздуха отъ спѣтаго тона, дѣйствующее въ томъ же направленіи, и вслѣдствіе этихъ повторныхъ маленькихъ импульсовъ первыя возбуждаются всегда сильнѣе. У всѣхъ другихъ струнъ колебанія различныхъ скоростей; поэтому маленькіе толчки отъ воздушныхъ колебаній будутъ не всегда усиливать ихъ, но по временамъ будутъ дѣйствовать противоположно и прекращать тонъ. Тяжелый металлическій колоколъ легко заставляютъ звучать тѣмъ, что поютъ или свистятъ въ него его собственнымъ тономъ.

Если поставить два камертона, настроенныхъ въ точности на одинъ и тотъ же тонъ и укрѣпленныхъ на резонансныхъ доскахъ въ разстояніи нѣсколькихъ метровъ другъ отъ друга такъ, чтобы резонансные ящики были обращены одинъ къ другому своими открытыми концами, затѣмъ провести по одному изъ двухъ камертоновъ, то послѣ того какъ первый приведенъ въ молчаніе, тотчасъ явственно слышно звучаніе второго камертона; если послѣ этого заставить молчать второй камертонъ, то опять слышно звучаніе перваго и т. д. Можно удобно сдѣлать это явленіе слышнымъ и видимымъ на большомъ разстояніи, повѣсивъ легкій полый стеклянный шаръ на тонкой коконовой нити такъ, чтобы онъ только-что касался верхняго конца одной вѣтви камертона *a* (рис. 272 и 273). Если теперь провести по камертону *b*, то тотчасъ приходитъ въ звучаніе камертонъ *a* и колебаніями своихъ вѣтвей производитъ періодическое отскакиваніе легкаго стекляннаго шара, которое можно видѣть и слышать весьма далеко.



274.

Гельмгольцъ для анализа оттѣнка звука воспользовался принципомъ резонанса и для этой цѣли устроилъ резонаторы, состоящія изъ стеклянныхъ или металлическихъ полыхъ шаровъ или цилиндровъ съ двумя отверстіями. Звуковыя волны проникаютъ въ резонаторъ черезъ бо̀льшее отверстіе съ остро срѣзанными краями; меньшее воронкообразное отверстіе служитъ для того, чтобы при помощи мягкаго сургуча или воска вставлять въ слуховой проходъ уха. Различнымъ тонамъ соотвѣтствуютъ резонаторы различныхъ емкостей, низкимъ тонамъ — большого объема, высокимъ — малаго. Слѣдовательно, каждый резонаторъ усиливаетъ только одинъ, вполнѣ опредѣленный тонъ и этимъ даетъ необыкновенно чувствительное средство для рѣшенія вопроса, содержится ли этотъ тонъ въ составномъ звукѣ или нѣтъ.

Съ помощью резонаторовъ Гельмгольцъ обстоятельно изслѣдовалъ установленную впервые Витстономъ теорію гласныхъ звуковъ человѣческаго голоса. Онъ показалъ, что при образованіи гласныхъ то свойственное имъ характерное отличіе, которымъ, напримѣръ, гласная а разнится отъ гласныхъ о, у, е, і и эти въ свою очередь между собою, связано съ существованіемъ опредѣленныхъ обертоновъ. Если пѣвецъ беретъ гласную а на опредѣленной нотѣ, то вполнѣ опредѣленнымъ положеніемъ и формою своей полости рта онъ заставляетъ звучать рядомъ съ тѣмъ главнымъ тономъ совсѣмъ другіе обертоны, чѣмъ если онъ на той же нотѣ пѣлъ бы гласную о или прочія гласныя; и эти-то обертоны при обыкновенномъ разговорѣ производятъ звукъ а или о, у, е или і. Гельмгольцъ ради повѣрки правильности теоріи произвелъ также гласныя искусственнымъ образомъ черезъ смѣшеніе соотвѣтственныхъ составныхъ частей звука. Для образованія гласной у (U) полость рта должна быть по возможности расширена, а ея отверстіе по возможности съужено сжатіемъ губъ. Это положеніе рта даетъ самый

низкій резонансъ, соотвѣтствующій f безъ черты. При гласной о (О) ротъ открытъ нѣсколько шире; ей соотвѣтствуютъ тѣ обертоны, которые лежатъ вблизи b съ чертою. Если ударить камертонъ, настроенный на b, и поднести его къ отверстію рта въ то время, какъ тихо говорятъ о или только придаютъ полости рта такое положеніе, какъ-будто хотятъ говорить о, то звучаніе камертона слышно громко. При гласной А полость рта получаетъ форму, расширяющуюся сзади впередъ; ей соотвѣтствуютъ обертоны, лежащіе близъ b съ двумя чертами. При гласныхъ Э, Е, И (Ä. E. J) задняя часть полости рта расширена, тогда какъ губы отодвигаются назадъ, а передняя часть языка поднимается къ твердому небу и образуетъ узкій каналъ. Эта часть даетъ болѣе высокій, задняя — болѣе низкій резонансный тонъ. На нотахъ обертоны, соотвѣтствующіе отдѣльнымъ гласнымъ, поставлены рядомъ (274).

Тоны сочетаній. Тогда какъ обертоны являются спутниками основного тона одного и того же звука, слѣдовательно, причину ихъ возникновенія слѣдуетъ искать только въ одномъ звучащемъ тѣлѣ, существуетъ другой разрядъ музыкальныхъ звуковъ, которые для своего возникновенія требуютъ совпаденія двухъ различныхъ рядовъ звуковыхъ волнъ, слѣдовательно соединенія двухъ различныхъ музыкальныхъ тоновъ. Это такъ называемые тоны сочетанія, открытые нѣмецкимъ органистомъ Зорге въ 1740 г., но сдѣлавшіеся общеизвѣстными уже позже, благодаря знаменитому итальянскому скрипачу Тартини, и называемые также по его имени Тартиніевыми тонами.

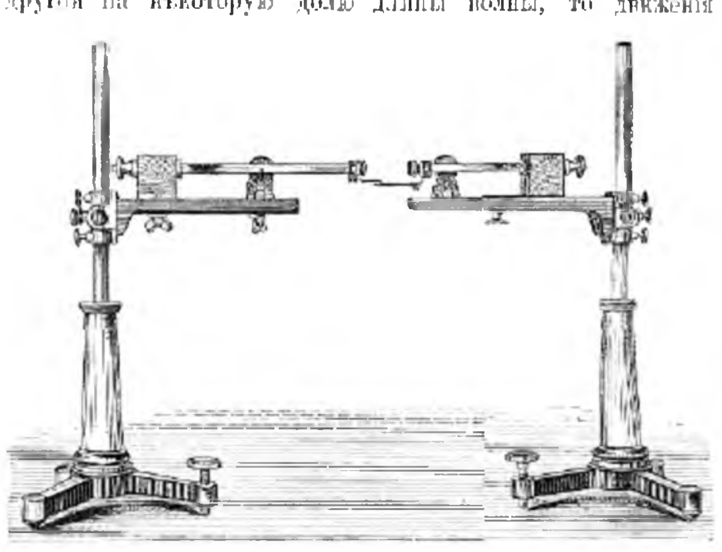
Тоны сочетанія слышны, если производить непрерывно и по возможности *сильно и равномѣрно два музыкальныхъ тона, которые образуютъ въ предѣлахъ* октавы довольно чистый интервалъ. По Гельмгольцу различаютъ два рода тоновъ сочетанія, именно, во-первыхъ, открытые Тартини и Зорге, характеризирующіеся тѣмъ, что число ихъ колебаній равны разности между числами колебаній обоихъ первоначальныхъ тоновъ; названы поэтому Гельмгольцемъ разностными тонами; и, во-вторыхъ, открытые Гельмгольцемъ суммовые тоны, числа колебаній которыхъ равны суммѣ чиселъ колебаній обоихъ первоначальныхъ тоновъ. Первые бываютъ вообще значительно сильнѣе вторыхъ.

Положимъ, что даны одновременно основной тонъ и его большая терція, числа колебаній которыхъ относятся, какъ 4:5; при этомъ всегда совпадаютъ четвертая сгущенная волна перваго тона съ пятою второго, и въ тотъ же моментъ происходитъ усиленіе звука. Если въ секунду это повторяется достаточно часто, то совокупность этихъ усиленій, между которыми лежатъ тогда столько же ослабленій, ухо ощущаетъ какъ новый болѣе низкій тонъ, который ниже основного тона на двѣ октавы. Такимъ образомъ можно хорошо объяснить по Ѳомѣ Юнгу возникновеніе разностныхъ тоновъ, но не суммовыхъ. Эти объясняются математической теоріей, которая доказываетъ, что, когда колебанія воздуха, *возбуждаемыя* обоими первичными тонами, не могутъ уже болѣе быть разсматриваемы, какъ безконечно малыя, но какъ значительныя, что тогда возникаютъ еще вторичныя колебанія воздуха, высота тона которыхъ соотвѣтствуетъ тонамъ сочетанія, такъ что они воспринимаются ухомъ, какъ тоны сочетанія. Очень хорошо образуются тоны сочетанія въ многоголосной сиренѣ Дове. Если ее привести въ возможно быстрое постоянное вращеніе, сначала открыть рядъ съ восемью отверстіями и затѣмъ рядъ съ двѣнадцатью отверстіями, которыя образуютъ интервалъ квинты, то слышенъ ясно болѣе слабый тонъ сочетанія, который ровно октавою ниже, чѣмъ низшій изъ обоихъ первоначальныхъ тоновъ. Вообще два тона съ числами колебаній m и n даютъ разностный тонъ съ числомъ колебавій $m - n$ и суммовой тонъ съ числомъ колебаній $m + n$.

По Тиндалю тоны сочетанія могутъ быть сдѣланы удобно и ясно слы-

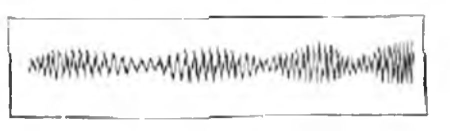
зины при помощи подходящихъ такъ называемыхъ поющихъ пламенъ, которыя получаются, если помѣстить на два обыкновенныхъ газовыхъ пламени двѣ стеклянныхъ трубки, снабженныхъ бумажными подставками для того, чтобы можно было въ извѣстныхъ предѣлахъ мѣнять длину трубокъ и соотвѣтственную высоту тона.

Интерференція. Два ряда водяныхъ волнъ, идущихъ отъ различныхъ точекъ возникновенія, могутъ въ своемъ движеніи усиливаться или ослабляться. Если оба ряда волнъ равной длины и равной амплитуды и находятся въ равныхъ фазахъ движенія, слѣдовательно, въ одинъ и тотъ же моментъ совпадаютъ гребни обоихъ рядовъ волнъ, то они усиливаются, возникаютъ гребни двойной высоты и равнымъ образомъ впадины двойной глубины. Но если оба ряда волнъ въ разныхъ фазахъ движенія, если одинъ рядъупреждаетъ другой на нѣкоторую долю длины волны, то движенія частью усиливаются, частью ослабляются, и они будутъ взаимно уничтожаться, если разность фазъ составляетъ половину длины волны, слѣдовательно, если гребень волны въ одной системѣ совпадаетъ со впадиной въ другой системѣ. Какъ два ряда водяныхъ волнъ, такимъ же образомъ и два ряда звуковыхъ волнъ могутъ усиливаться, если совпадаютъ



275. Взаимодѣйствіе двухъ камертоновъ.

мѣста сгущенія одного ряда съ мѣстами сгущенія другого, и они могутъ ослабляться и уничтожаться, если мѣста сгущенія одного ряда совпадаютъ съ мѣстами разрѣженія другого. Это явленіе называютъ интерференціей звука. Помощью расположенія, изображеннаго на рис. 275, можно очень хорошо представить графически интерференцію двухъ камертоновъ и демонстрировать по описанному выше методу Лиссажу субъективно и объективно. Оба камертона, снабженные электромагнитами, прочно укрѣплены на двухъ массивныхъ штативахъ. Одинъ изъ нихъ, къ которому прижимается стеклянная закопченная пластинка, можетъ быть сдвигаемъ на салазкахъ въ горизонтальномъ направленіи, тогда какъ другой,



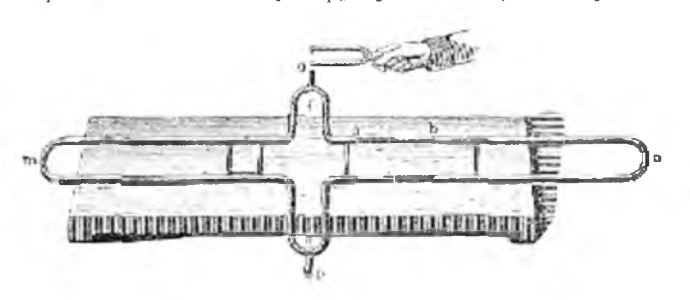
276. Дрожанія.

къ которому привинчивается тонкое пишущее остріе, укрѣпленъ неподвижно. Если теперь привести въ колебаніе камертонъ, снабженный остріемъ, и двигать подъ нимъ другой, то на закопченной стеклянной пластинкѣ получается обыкновенная синусоида. Но если привести въ колебанія оба камертона, и затѣмъ камертонъ со стеклянною пластинкою двигать подъ остріемъ, то въ томъ случаѣ, если камертоны настроены неодинаково или находятся въ различныхъ фазахъ колебанія, получается кривая рис. 276,

въ которой расширенія соотвѣтствуютъ періодамъ совпаденія, сжатыя части періодамъ интерференція.

Если ударить камертонъ и затѣмъ вращать его передъ ухомъ вокругъ вертикальной оси, проходящей черезъ рукоятку, то слышны періодически смѣняющіяся усиленія и ослабленія звука, и на протяженіи одного оборота существуютъ четыре положенія, въ которыхъ звукъ совершенно исчезаетъ, *такъ какъ при этихъ положеніяхъ вѣтви камертона колеблются въ противо*положныхъ направленіяхъ, и звукъ отъ одной вѣтви уничтожается интерференціею со звукомъ другой вѣтви.

Квинке, основываясь на принципѣ, впервые даннымъ Джономъ Гершелемъ, построилъ систему трубокъ, которая очень удобна для показанія интерференціи. Латунная трубка вилообразно дѣлится на двѣ вѣтви, которыя далѣе опять соединяются и оканчиваются общею трубкой. Длину обѣихъ вѣтвей можно измѣнять *въ широкихъ предѣлахъ* тѣмъ, что *одна боковая трубка можетъ быть выдвигаема* на подобіе тромбона. Если передъ однимъ отверстіемъ держать звучащій камертонъ а передъ другимъ ухо, то слышать звукъ камертона въ томъ случаѣ, если обѣ боковыя вѣтви одинаковой длины, такъ что звуковыя волны достигаютъ уха въ одинаковое время. Если же выдвинуть трубку настолько, чтобы правая вѣтвь была длиннѣе лѣвой наполовину длины волны звука камертона, то звучаніе камертона *не* слышно, такъ какъ оба ряда звуковыхъ волнъ уничтожаются интерференціей. Звукъ достигаетъ снова своего максимума, когда правая вѣтвь длиннѣе лѣвой на цѣлую длину волны. Слѣдовательно, обратно, приборъ даетъ удобное средство для опредѣленія длины волны звука. Четырекратная длина, на которую слѣдуетъ увеличить правую вѣтвь для того, чтобы вполнѣ исчезалъ звукъ, есть очевидно длина волны звука.



277-a. **Приборъ Квинке.**

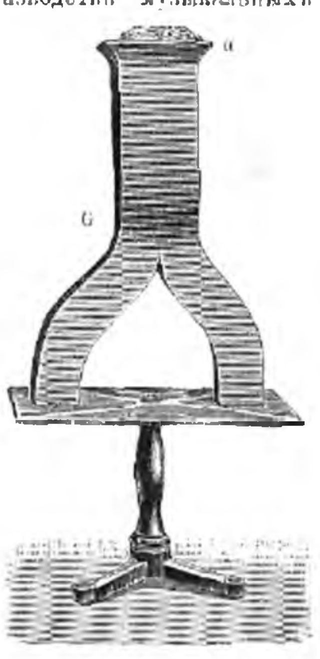
Для большого круга слушателей принципъ интерференціи можно наглядно показать помощью хладніева диска и интерференціонной трубы G (рис. 277-b), предложенной Вильямомъ Гопкинсомъ. Это есть вилообразная трубка, закрытая съ верхняго конца *a* натянутой упругой перепонкой, на которую посыпается мелкій песокъ. Если надъ дискомъ, приведеннымъ въ звучаніе, такъ держать развилину, чтобы ея вилообразные концы находились надъ двумя противоположными секторами, которые въ одинаковыхъ фазахъ колебанія, то песокъ приходитъ на пленкѣ въ сильное скакательное движеніе, такъ какъ оба ряда звуковыхъ волнъ достигаютъ перепонки съ одинаковыми фазами колебанія; напротивъ того, если вилообразные концы находятся надъ двумя рядомъ лежащими секторами, которые въ прямопротивоположныхъ фазахъ колебанія, то оба ряда звуковыхъ волнъ, встрѣчающихъ перепонку, нейтрализуются, песокъ тогда остается въ покоѣ.

Біенія. Слѣдствіе интерференціи суть такъ называемые толчки или біенія, которые слышны, когда одновременно звучатъ два музыкальныхъ звука приблизительно, но не точно одинаковой высоты. Ряды волнъ обоихъ звуковъ попеременно совпадаютъ и интерферируютъ, и такимъ образомъ про*исходятъ поперемѣнныя усиленія и ослабленія звука, которыя мы ощущаемъ* ухомъ, какъ рядъ раздѣленныхъ другъ отъ друга паузами толчковъ, ударовъ или біеній. Число біеній въ секунду постоянно равно разности чиселъ колебаній обоихъ звуковъ. Біенія слѣдуютъ другъ за другомъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ меньше разница въ числахъ колебаній обоихъ звуковъ, и тѣмъ быстрѣе, чѣмъ эта разница больше. Въ музыкѣ медленно и равномѣрно слѣдующія біенія часто производятъ впечатлѣніе. Но если біенія слѣдуютъ другъ за другомъ слишкомъ быстро для того, чтобы можно было ихъ ощущать еще въ отдѣльности, то они производятъ нѣкоторую шероховатость въ звукѣ, которая непріятна

нашему уху такъ же, какъ напримѣръ мерцающій свѣтъ для глаза, и въ этой шероховатости звука заключается, по Гельмгольцу, существенный характеръ диссонанса.

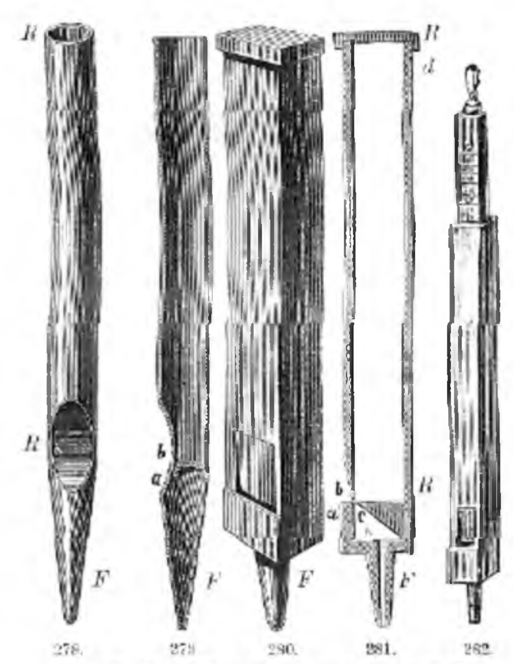
Біенія даютъ удобное и весьма вѣрное средство рѣшать, одинаковой ли высоты два тона, и ими также пользуются органные мастера для точнаго настраиванія между собою органныхъ трубокъ.

Въ новѣйшее время камертоны провѣряются со стороны физико-техническаго государственнаго учрежденія посредствомъ счета ихъ біеній съ дифференціальными камертонами, которые выводятся изъ основного камертона. Подобно тому, какъ въ торговлѣ и сношеніяхъ общность массы и вѣса, такъ и для занимающихся музыкой, равно и при производствѣ музыкальныхъ инструментовъ, весьма важное значеніе имѣетъ общность точно опредѣленнаго основного тона, отъ котораго могутъ быть выводимы другіе тоны. Попытки ввести подобный общій основной тонъ простираются назадъ въ 17-е столѣтіе, но впервые въ 1834 г. въ Штуттгартѣ на нѣмецкомъ съѣздѣ естествоиспытателей по предложенію Шейблера было рѣшено принять за основной тонъ *a* съ чертою, имѣющій въ секунду 440 цѣлыхъ (880 половинныхъ или простыхъ) колебаній. Однако это рѣшеніе не достигло всеобщаго практическаго примѣненія. По закону французскаго правительства въ 1859 г. въ парижской оперѣ установлено для этого *a* 870 простыхъ колебаній; нѣсколько лѣтъ спустя вѣнская опера примкнула къ французскому основному тону, между тѣмъ какъ оперы въ Берлинѣ, Брюсселѣ, Миланѣ имѣли свои собственные основные тоны, но ихъ высота также не оставалась неизмѣнною. Эта неопредѣленность была поводомъ къ тому, что наконецъ въ 1885 г. по побужденію австрійскаго правительства состоялась въ Вѣнѣ международная „конференція для опредѣленія нормальнаго тона", въ которой представительствовали знатоки дѣла изъ нѣмецкихъ государствъ, отъ Пруссіи, Саксоніи, Виртемберга, изъ иностранныхъ государствъ, отъ Италіи, Россіи и Швеціи: эта конференція пришла къ рѣшенію принять за единственный международный нормальный тонъ тотъ *a*, высота котораго опредѣляется 870 простыми колебаніями въ секунду, и для воспроизведенія этого тона по научнымъ правиламъ построить нормальные камертоны такимъ образомъ, чтобы они при температурѣ 15° C давали нормальный тонъ. Для выполненія этого въ интересахъ музыкальной практики необходимаго рѣшенія отдѣльныя правительства должны были поручать соотвѣтственнымъ вѣдомствамъ хранить ихъ нормальные камертоны, съ ними сравнивать всѣ поступающіе къ нимъ для провѣрки камертоны, и въ отдѣльныхъ случаяхъ исправлять и снабжать клеймомъ. Для провѣрки и наложенія клейма признаны подходящими и допустимыми только такіе камертоны, которые вылиты изъ не очень твердой стали и состоятъ со своей рукояткой изъ одного куска, причемъ ихъ обѣ вѣтви должны быть призматичны съ соразмѣрнымъ прямоугольнымъ сѣченіемъ и параллельны другъ другу. На основаніи этого опредѣленія съ 1888 г. испытаніе и клеймованіе камертоновъ въ Германіи производятся Физико-Техническимъ Государственнымъ учрежденіемъ въ Берлинѣ-Шарлоттенбургѣ.



277 b. Приборъ Гопкинса.

Колебанія воздушныхъ столбовъ трубы. Практическая музыка пользуется для воспроизведенія звуковъ не только такими инструментами, въ которыхъ твердыя тѣла, но и такими, въ которыхъ приводятся въ колебаніе тѣла газообразныя. Хотя духовые инструменты какъ по своему внѣшнему виду, такъ и по способу употребленія сильно отличаются отъ струнныхъ инструментовъ, однако дѣйствіе первыхъ основывается на законахъ колебаній, совершенно аналогичныхъ законамъ колебаній вторыхъ. Волнообразныя сгущенія и разрѣженія и стоячія продольныя волны воздуха въ трубахъ вполнѣ соотвѣтствуютъ стоячимъ поперечнымъ волнамъ въ струнахъ, и различія состоятъ только въ способѣ ихъ производства. Высота тона обусловлена длиною колеблющагося воздушнаго столба въ инструментѣ, а эта длина стоитъ въ прямомъ отношеніи къ длинѣ самого инструмента, такъ что объясненіе дѣйствія всѣхъ духовыхъ инструментовъ можно *свести на разсмотрѣніе* простой, прямой цилиндрической трубы, въ которой воздухъ попеременно сгущается и разрѣжается подобно тому, какъ мы находимъ объясненіе дѣйствія всѣхъ струнныхъ инструментовъ въ явленіяхъ движенія одной натянутой струны.



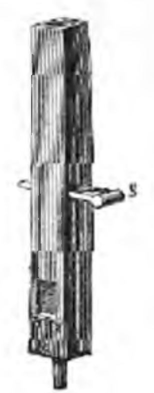
278—282. **Открытыя и закрытыя трубы.**

Когда мы дуемъ въ длинную, широкую, снизу открытую трубу, то хотя этимъ и производимъ движеніе заключающагося внутри воздуха, но оно бываетъ только равномѣрно поступательнымъ, а *не колебательнымъ, которое необходимо* для образованія звука. Чтобы возникалъ звукъ, для этого вдуваемый воздухъ или долженъ входить въ трубу толчками, или онъ долженъ разбиваться объ отверстіе съ острымъ краемъ. Первое можетъ быть достигнуто колеблющимися пластинками, помѣщаемыми въ отверстіи трубы, или язычкомъ, который всякій разъ, когда онъ вдвигается въ трубку, образуетъ сгущеніе находящихся предъ нимъ частицъ воздуха, при обратномъ движеніи наоборотъ — разрѣженіе. Послѣдняго можно достигнуть, вдувая воздухъ приложенными поперекъ отверстія губами или заставляя вдуваемый воздухъ разбиваться объ отверстіе, снабженное острымъ краемъ или губой.

При устройствѣ музыкальныхъ инструментовъ примѣняются оба способа *производства звука. Труба, охотничій рогъ, тромбонъ, кларнетъ и фаготъ* суть примѣры перваго случая, это такъ называемыя язычковыя трубы; напротивъ органныя трубы и флейты представляютъ второй родъ, такъ называемыя губныя трубы или флейтныя, о которыхъ прежде всего мы и будемъ говорить. Рис. 278 и 280 показываютъ внѣшній видъ, рис. 279 и 281 — разрѣзъ трубъ подобнаго рода. Нижняя часть F, ножка, служитъ для вдуванія ртомъ или помощью мѣховъ. Воздухъ устремляется въ пространство K и по вставленному выступу c слѣдуетъ въ отверстіе ab и здѣсь претерпѣваетъ сперва сгущеніе чрезъ отраженіе при верхнемъ острымъ

край b губы. Это сгущеніе продолжается однако недолго, такъ какъ воздухъ можетъ сейчасъ же расшириться наружу; вслѣдствіе вдуванія новой массы воздуха повторяется снова то же самое, и такимъ образомъ возникаютъ быстро слѣдующія одинъ за другимъ сгущенія и имъ соотвѣтствующія разрѣженія слоевъ воздуха. Производимыя сотрясенія передаются воздуху внутри трубы и приводятъ его въ изохронныя колебанія. Но такъ какъ заключенный столбъ воздуха всего легче колеблется цѣлою массою, то онъ своими болѣе вѣскими движеніями оказываетъ вліяніе на быстроту возникающихъ въ отверстіи волнъ и регулируетъ ихъ скорость. Каждая труба, слѣдовательно, обладаетъ своимъ особеннымъ основнымъ тономъ, зависящимъ отъ *длины колеблющагося въ ней воздушнаго столба, именно высота тона трубки* обратно пропорціональна длинѣ ея. Рис. 282 представляетъ губную трубку перемѣнной длины, снабженную втулкой и шкалой для хроматической гаммы.

Изображенная на рис. 278 и 279 губная трубка съ верхняго конца открыта; она даетъ основной тонъ, длина волны котораго въ воздухѣ вдвое больше длины трубки RR. Рис. 280 и 281 представляютъ, напротивъ, трубку съ крышкой, т.-е. закрытую съ верхняго конца. Она даетъ основной тонъ, длина волны котораго въ воздухѣ въ четверо больше длины трубки RR.



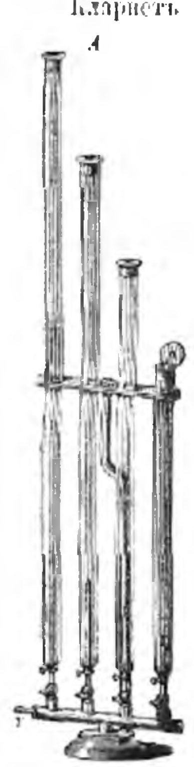
283. Труба съ заслонкой.

Для того, чтобы получить представленіе о движеніи воздуха внутри закрытой органной трубки, замѣтимъ, что слѣдующіе одинъ за другимъ толчки сгущенія, дѣйствуя отъ точки a на внутренній столбъ воздуха, будутъ очевидно двигаться по всей длинѣ трубы, какъ система плоскихъ волнъ, пока не достигнутъ закрытаго конца d; отъ него они будутъ вполнѣ отброшены назадъ и достигнутъ опять до нижняго отверстія, и такимъ образомъ будутъ пробѣгать туда и обратно между отверстіемъ и закрытымъ концомъ. Нижній слой воздуха здѣсь остается при этомъ въ покоѣ; здѣсь образуется узелъ, тогда какъ нижній открытый конецъ трубы, воздухъ въ которомъ находится въ движеніи, образуетъ середину колеблющейся части. Поэтому четыре раза взятая длина трубы даетъ цѣлую длину волны основного тона. Дѣйствительно тонъ, который даетъ закрытая трубка длиною въ $^1/_2$ парижскихъ фута, вполнѣ совпадаетъ съ тѣмъ, который слышенъ на сиренѣ при 512 толчкахъ. Но въ воздухѣ звукъ проходитъ въ секунду 1024 парижскихъ фута, *и такъ какъ длина волнъ должна быть равна пространству*, на которое распространяется звукъ во время колебанія одной частицы воздуха, то каждая изъ волнъ, образующихъ вышеупомянутый тонъ, должна *быть длиной въ* $^{1024}/_{512} = 2$ *фута; слѣдовательно, длина закрытой трубки* составляетъ только четвертую часть длины волны, соотвѣтствующей ея основному тону. Движеніе воздуха внутри открытыхъ трубокъ (рис. 278 и 279) подобно движенію стержня съ двумя свободными концами, который закрѣпленъ въ своей серединѣ и совершаетъ продольныя колебанія; оба конца суть мѣста наисильнѣйшаго колебанія; въ серединѣ образуется узелъ. Двойная длина трубы даетъ цѣлую длину волны основного тона. Слѣдовательно, для того, чтобы закрытая и открытая органныя трубки давали одинъ и тотъ же тонъ, открытая должна быть вдвое длиннѣе закрытой. Это легко доказать на трубкѣ, изображенной на рис. 283: эта трубка снабжена какъ разъ по своей срединѣ задвижкой S, которая до половины имѣетъ отверстіе, соотвѣтствующее ширинѣ трубы, такъ что помощью ея можно получить трубку одинъ разъ закрытую, другой разъ открытую вдвое большей длины. Въ обоихъ случаяхъ высота основного тона та же самая.

Флейта и большая часть органныхъ трубъ суть губныя трубки. Въ флейтѣ ртомъ дуютъ въ заостренный край отверстія.

Въ *язычковыхъ трубкахъ* вдуваемый въ нихъ потокъ воздуха колебаніями язычка, т.-е. упругой пластиночки, которая попеременно закрываетъ и открываетъ отверстіе трубки, разлагается на рядъ воздушныхъ толчковъ. Дѣйствіе органной язычковой трубки на основаніи предыдущаго само по себѣ понятно. Воздухъ вступаетъ снизу, язычекъ помощью прижатой къ нему проволоки можетъ быть удлиненъ или укороченъ, и соотвѣтственно этому — тонъ повышенъ или пониженъ въ извѣстныхъ предѣлахъ. На верхній конецъ трубки насаженъ раструбъ. Кларнетъ, гобой, фаготъ и мѣдные инструменты суть язычковыя трубы.

Кларнетъ имѣетъ одинъ широкій язычекъ, гобой и фаготъ имѣютъ ихъ два, которые, будучи наклонены одинъ къ другому подъ острымъ угломъ, образуютъ узкую щель; у рога, трубы и тромбона, короче говоря, у всѣхъ инструментовъ изъ мѣди мѣсто язычковъ замѣняютъ губы человѣка, которыя при дутьѣ приводятся въ колебанія. Но самый совершенный и лучшій изъ всѣхъ язычковыхъ инструментовъ — это *человѣческій голосовой органъ*, въ которомъ роль язычка играютъ упругія голосовыя связки гортани. Онѣ приводятся въ колебанія потокомъ воздуха, выходящаго изъ легкихъ и, сравнительно въ ничтожной мѣрѣ, входящимъ. Гортань образуетъ верхнюю часть дыхательнаго горла и состоитъ изъ хрящевидныхъ образованій, которыя помощью различныхъ мускуловъ могутъ двигаться самымъ разнообразнымъ образомъ. Слизистая оболочка, выстилающая внутренность гортани и образующая продолженіе дыхательнаго горла, приблизительно въ серединѣ гортани суживается въ щель, направляющуюся спереди назадъ, голосовую щель, края которой образованы обѣими голосовыми связками. Въ ненапряженномъ состояніи, когда не образуется звука, голосовая щель широка, въ напряженномъ состояніи узка. Отъ ея суженія и отъ степени напряженія голосовыхъ связокъ зависитъ ея темпъ колебанія и сообразно этому высота тона, тогда какъ чистота и мягкость его зависятъ отъ того, что голосовая щель во время колебанія имѣетъ совершенно правильные періоды, и ея края упруги, чисты и вполнѣ свободны отъ мокроты.



284. Химическая гармоника.

Химическая гармоника. Воздухъ въ открытой трубѣ можно также привести въ колебательное движеніе и заставить звучать, накрывая трубкою пламя водорода или свѣтильнаго газа. При этомъ форма и видъ пламени мѣняются, пламя приходитъ въ ритмическое дрожаніе, которое легко можно замѣтить, если двигать передъ глазомъ взадъ и впередъ руку съ раздвинутыми пальцами. Высота тона зависитъ отъ длины трубы; онъ становится тѣмъ ниже, чѣмъ длиннѣе труба, и тѣмъ выше, чѣмъ она короче. Это можно легко показать помощью подыманія и опусканія особой надставки. Регулированіемъ высоты пламени можно кромѣ основного тона трубы получить также ея первый и второй обертоны. На рис. 284 представлена химическая гармоника для свѣтильнаго газа, состоящая изъ четырехъ горѣлокъ, снабженныхъ регулирующими кранами, и изъ четырехъ стеклянныхъ трубокъ, настроенныхъ на мажорный аккордъ; каждая изъ нихъ въ отдѣльности можетъ закрываться крышкой для того, чтобы прекращать звучаніе пламени, не прерывая горѣнія. Графъ Шаффготчъ, но особенно англійскій физикъ Тиндаль произвели очень интересные изслѣдованія съ чувствительными пламенами, которыя *Тиндаль* съ свойственной ему очаровательностью описалъ въ своемъ извѣстномъ произведеніи „Звукъ".

Подобно тому какъ струна скрипки при извѣстныхъ условіяхъ сама собою дѣлится и колеблется отдѣльными частями, такъ и звучащіе столбы воздуха въ извѣстныхъ случаяхъ легко раздѣляются на отдѣльныя самостоятельно колеблющіяся части, и соотвѣтственно этому даютъ обертоны. Если бы столбъ воздуха въ трубкѣ могъ колебаться всегда только однимъ и тѣмъ же образомъ, то въ ней можно было бы получать только одинъ тонъ. Дѣйствительно, нѣкоторые инструменты, напр. органъ, такъ устроены, что каждая изъ язычковыхъ или губныхъ трубокъ даетъ только ихъ собственный основной тонъ и никакого другого. Но большая часть духовыхъ инструментовъ имѣетъ цѣлью давать кромѣ основного тона рядъ обертоновъ. Этого можно достигнуть болѣе сильнымъ дутьемъ, а также тѣмъ, что инструменту придаютъ большую длину сравнительно съ прочими его размѣрами, или подходящимъ образомъ мѣняютъ ее. Напр., въ тромбонѣ можно мѣнять длину колеблющагося столба воздуха и вмѣстѣ съ тѣмъ ея основной тонъ помощью удлиненія и укорачиванія трубы. Подобное достигаютъ въ трубахъ, пользуясь клапанами, въ флейтахъ и кларнетахъ, пользуясь отверстіями и клапанами. Такимъ образомъ артистъ можетъ извлекать изъ духового инструмента весьма различные тоны тѣмъ, что заставляетъ звучащій столбъ воздуха колебаться извѣстными частями по правиламъ и законамъ, аналогичнымъ тѣмъ, которые мы изучили при колебаніи струны, если касаются ея въ нѣкоторыхъ точкахъ.

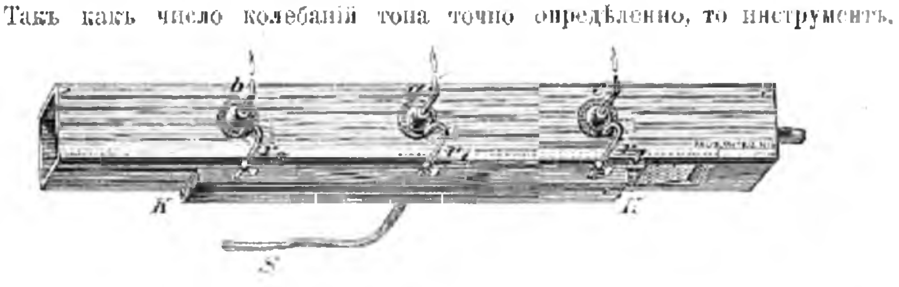
Рядъ тѣхъ болѣе высокихъ тоновъ, которые могутъ возникать вслѣдствіе самостоятельнаго дѣленія колеблющагося столба воздуха въ открытой трубѣ, выражается слѣдующимъ рядомъ:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
C	c	g	$\bar{c}$	$\bar{e}$	$\bar{g}$	$\bar{b}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{e}}$	$\bar{\bar{f}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{a}}$	$\bar{\bar{b}}$	$\bar{\bar{h}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$

285. Колебанія въ трубѣ.

Дальше вверхъ тоны смыкаются еще тѣснѣе. У всѣхъ духовыхъ инструментовъ, состоящихъ изъ простыхъ трубъ, придаютъ трубѣ большую длину для того, чтобы получать обертоны по возможности чистыми и ясными; поэтому ихъ рѣдко или совсѣмъ не употребляютъ для основного тона.

Такъ какъ число колебаній тона точно опредѣленно, то инструментъ,



286. Способъ Кёнига.

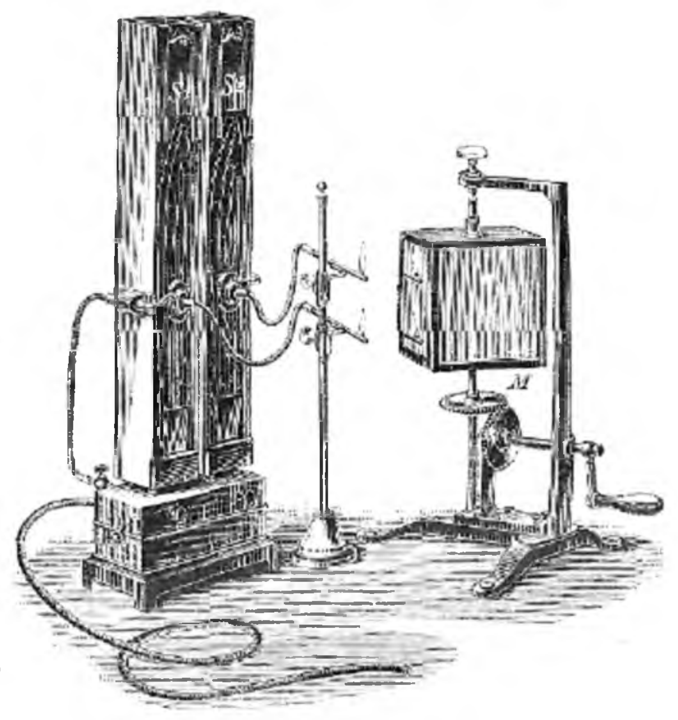
порядокъ тоновъ въ которомъ построенъ на опредѣленномъ основномъ тонѣ, мало или даже совсѣмъ не годится для другихъ порядковъ тоновъ. Поэтому въ аранжировкѣ для различныхъ тональностей употребляются извѣстные инструменты въ разныхъ типахъ, длина трубъ которыхъ увеличивается вмѣстѣ съ пониженіемъ ихъ основного тона. Напр. среди роговъ существуютъ роги, настроенные на C, на F, на E, среди кларнетовъ C-кларнеты, D-кларнеты, B-кларнеты, далѣе бываютъ трубы съ основнымъ тономъ E, Es и т. д.

Явленіе колебанія въ трубкѣ можно легко сдѣлать видимымъ, если по Вильяму Гопкинсу вдоль всей длины трубки, закрытой сбоку стеклянной стѣнкой, двигать на нити *F* (рис. 285) тонкую натянутую перепонку *M*, на которой посыпанъ мелкій песокъ. Если заставить трубку издавать звукъ, то хотя онъ нѣсколько и мѣняется отъ присутствія этого посторонняго тѣла, но не прекращается; если перепонка находится у верхняго конца, то слышенъ громкій свистъ, и видно, какъ песокъ на ней быстро кружится; если перепонку опустить дальше въ трубку, то свистящій звукъ, равно какъ и движеніе песка постепенно ослабѣваютъ и совершенно прекращаются, когда перепонка находится въ серединѣ трубки, что служитъ доказательствомъ того, что тамъ существуетъ узелъ колеблющагося столба воздуха. Если перепонку опускать еще глубже, то вновь начинаются свистящій звукъ и движеніе находящагося на ней песку, усиливающіеся вплоть до основанія трубки. Такимъ образомъ мы видимъ и слышимъ, что разъ трубка даетъ свой основной тонъ, ея воздушный столбъ колеблется двумя частями, раздѣленными однимъ узломъ. На обоихъ концахъ трубки частицы воздуха колеблются внизъ и вверхъ, не производя замѣтнаго измѣненія плотности, тогда какъ въ серединѣ трубы, гдѣ образуется узелъ, воздухъ претерпѣваетъ большое измѣненіе плотности.

Явленіе колебанія и узлы въ звучащей органной трубкѣ могутъ быть сдѣланы видимыми также по Р. Кенигу весьма остроумнымъ способомъ при помощи такъ называемыхъ манометрическихъ пламенъ. Рис. 286 представляетъ открытую органную трубку съ тремя манометрическими пламенами. Одна ея стѣнка снабжена въ серединѣ и на равныхъ разстояніяхъ отъ середины и обоихъ концовъ тремя отверстіями, затянутыми тонкими перепонками. Онѣ образуютъ основанія трехъ капсулъ *a*, *b* и *c*, отъ которыхъ съ одной стороны ведутъ въ помѣщеніе *KK* три изогнутыя трубки r_1, r_2 и r_3, съ другой стороны выходятъ три загнутыхъ подъ прямымъ угломъ рожка, снабженныхъ тонкими отверстіями для газа, которыя, если черезъ рукавъ S провести въ помѣщеніе *KK* свѣтильный газъ, можно зажечь; огоньки регулируются кранами и могутъ быть сдѣланы совершенно маленькими. Если теперь органную трубку заставить издавать основной тонъ, то въ колебанія приходятъ также и три огонька, и именно средній всего больше: онъ гаснетъ, тогда какъ оба другіе огонька продолжаютъ горѣть, — признакъ того, что въ серединѣ существуетъ узелъ. Напротивъ, если въ трубку дуть сильнѣе, такъ что она даетъ свой первый обертонъ, то узелъ въ срединѣ исчезаетъ; здѣсь образуется мѣсто наисильнѣйшаго колебанія, тогда какъ въ *b* и *c* возникаютъ два узла, такъ что теперь огоньки таснутъ уже въ *b* и *c*, тогда какъ средній продолжаетъ горѣть. Такія манометрическія пламена представляютъ весьма чувствительное средство для изслѣдованія звучащихъ воздушныхъ столбовъ въ отношеніи ихъ упругостей и колебаній; ихъ форма и видъ мѣняются при колебаніи, совершенно такъ же, какъ каждое свободно горящее пламя весьма хорошо отзывается на звукъ и тонъ и соотвѣтственно этому мѣняетъ свой видъ. Для того, чтобы наблюдать отдѣльныя колебанія пламени, ихъ разсматриваютъ во вращающемся зеркалѣ; тогда въ зеркалѣ видятъ рядъ раздѣльныхъ характеристичныхъ свѣтовыхъ изображеній, тогда какъ, если пламя не приведено въ колебанія, а остается въ покоѣ, видна длинная ровная полоса свѣта.

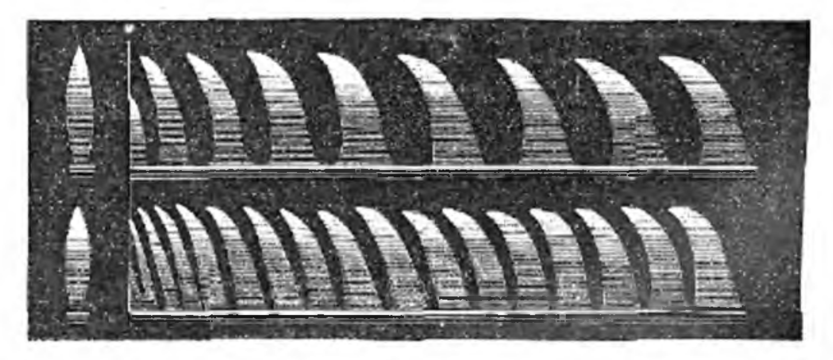
На воздушномъ ящикѣ *A* (рис. 287) стоятъ двѣ равныя снабженныя манометрическими приспособленіями для пламенъ органныя трубки, которыя помощью задвижекъ S_1 и S_2 могутъ быть настроены на одинъ и тотъ же или на разные тоны. Огоньки, соотвѣтствующіе обѣимъ трубкамъ, горятъ какъ разъ вертикально одинъ надъ другимъ и могутъ быть наблюдаемы въ кубообразномъ зеркалѣ *M*, вращающемся помощью шестерни съ рукояткой.

Если обѣ трубки не звучатъ, то оба огонька горятъ спокойно, и во вращающемся зеркалѣ видны двѣ сильно растянутыя полосы свѣта, лежащія вертикально одна надъ другой. Если же заставить трубки издавать звукъ, то колебанія воздуха сообщаются перепонкамъ и огонькамъ и во вращающемся зеркалѣ замѣчаютъ, смотря по тому, даютъ ли трубки тотъ же самый тонъ или онѣ образуютъ другъ съ другомъ біенія, два совершенно одинакихъ или отличающихся одинъ отъ другого ряда, раздѣленныхъ на характерестичныя отдѣльныя изображенія. Если выбрать по двѣ равныя трубки, но такія, чтобы одна давала октаву тона другого, то замѣчаютъ два ряда раздѣльныхъ изображеній, представленныхъ на рис. 288.



287. Аппаратъ Кенига.

Если въ воронку *T* (рис. 289) одной и той же нотой пѣть одну за другой отдѣльныя гласныя *а, е, i, о, у,* то въ зеркалѣ замѣчаютъ соотвѣтствующіе ряды отдѣльныхъ свѣтовыхъ изображеній, которыя для звука каждой гласной различны и характеристичны. Р. Кенигъ въ Парижѣ для изученія оттѣнка различ-



3. Основной тонъ и его октава.

ныхъ звуковъ соединилъ такія манометрическія пламена съ резонаторами. Рис. 290 представляетъ приборъ Кенига съ 14 всеобщими резонаторами для разложенія звука на простые тоны помощью манометрическихъ пламенъ.

Кундтовскія пыльныя фигуры. Кундтомъ предложенъ другой интересный способъ дѣлать видимыми воздушныя колебанія въ звучащей

трубѣ. Въ стеклянную трубку, около 2 метр. длины, насыпаютъ очень мелкаго порошку, напр. пробки или ликоподія, распредѣляютъ его равномѣрно по всей длинѣ и затѣмъ, закрывъ трубку, закрѣпляютъ или зажимаютъ её посрединѣ въ горизонтальномъ положеніи; если теперь привести трубку въ звучаніе тѣмъ, что натирать одну ея половину влажнымъ кускомъ суконной матеріи, то продольныя колебанія трубы передаются заключенному въ ней воздуху и легкому порошку: послѣдній распредѣляется въ правильную форму, представленную на рис. 291 и показывающую, въ какихъ частяхъ колеблется воздушный столбъ. (Рисунокъ относится еще и къ другому опыту.) Круглыя мѣста означаютъ узлы, между которыми порошокъ ложится поперечными полосами, *ребрами*, направленными подъ прямымъ угломъ къ оси трубы. Разстояніе между двумя узлами соотвѣтствуетъ половинѣ длины волны звука въ воздухѣ; но длина стеклянной трубки, колеблющейся продольно и одинаковымъ съ воздухомъ ритмомъ, соотвѣтствуетъ также половинѣ длины волны въ стеклѣ. Слѣдовательно, сколько разъ содержится въ стеклянной трубкѣ разстояніе между двумя узлами, во столько разъ звукъ быстрѣе распространяется въ стеклѣ, нежели въ воздухѣ. Итакъ способъ Кундта даетъ вмѣстѣ съ тѣмъ удобное средство для рѣшенія одной изъ важныхъ физическихъ задачъ, именно, опредѣленія отношенія скоростей звука въ стеклѣ и въ воздухѣ, а такъ какъ трубку можно наполнять различными газами, водородомъ, углекислотой и т. д., — опредѣленія отношенія скоростей звука въ различныхъ газахъ. Она получается въ углекислотѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ. Чѣмъ плотнѣе газъ, тѣмъ меньше въ немъ скорость звука, а именно она обратно пропорціональна корню квадратному изъ плотности; далѣе, она увеличивается съ возрастаніемъ температуры и наконецъ зависитъ отъ упругости газа.

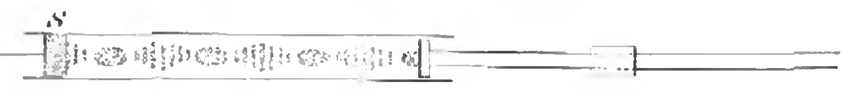


289. Аппаратъ для гласныхъ звуковъ.

290. Большой аппаратъ Кенига для изученія тембра.

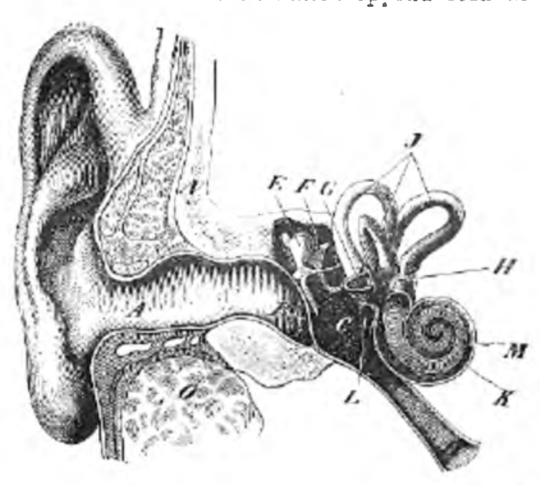
Подобнымъ же, даннымъ Кундтомъ, способомъ можно опредѣлять ско-

рость звука въ продольно натираемыхъ стержняхъ изъ различныхъ веществъ. Для этой цѣли испытуемый стержень неподвижно защемляется срединою въ горизонтальномъ положеніи (рис. 291), и одинъ конецъ, снабженный тонкой пробковой пластинкой, накрывается болѣе широкой стеклянной



291. Трубка Кундта для опредѣленія скорости звука.

трубкой, наполненной порошкомъ пробки или ликоподія или кремнеземомъ, и длину которой можно мѣнять передвиженіемъ поршня S. Если теперь, натирая влажнымъ сукномъ свободную половину стержня, привести его въ звучаніе, то продольныя колебанія вызываютъ въ стеклянной трубкѣ стоячія волны, распредѣляющія пыль въ періодическія фигуры. Передвигая поршень S, легко найти ту длину, при которой движеніе пыли всего сильнѣе, и фигуры образуются наиболѣе отчетливо. Если затѣмъ разстояніе между двумя узлами l и длина натираемаго стержня L, то отношеніе $\frac{L}{l}$ показываетъ, во сколько разъ звукъ въ разсматриваемомъ матеріалѣ распространяется быстрѣе, нежели въ воздухѣ; соотвѣтственно этому онъ распространяется въ секунду на $331 \cdot \frac{L}{l}$ метр., причемъ слѣдуетъ замѣтить, что эта скорость распространенія относится къ температурѣ 0° C, и что она при высшихъ температурахъ больше. Въ стали при средней температурѣ она составляетъ около 5000 метр., въ мѣди — 3570 метр.



292. Органъ слуха правой стороны. (Внутреннія части увеличены, а лабиринтъ повернутъ впередъ для большей наглядности).

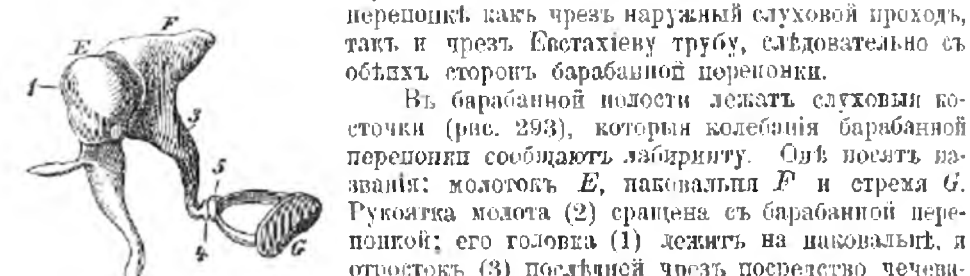
A Наружный слуховой проходъ. B барабанная перепонка. C барабанная полость. D Ушная трубка. Слуховыя косточки: E молоточекъ, F наковальня, G стремя, H слуховой каналъ лабиринта, J три дуговыхъ прохода. K ступени барабанной полости, ведущія къ круглому окошку L, M ступени слухового канала, N височная часть, O слюнная железа.

Человѣческое ухо. Такъ какъ у звука та особенность, что въ твердыхъ тѣлахъ онъ распространяется лучше, нежели въ открытомъ воздухѣ, и такъ какъ, далѣе, голова человѣка и животныхъ состоитъ большею частью изъ твердыхъ частей, костей, то и органъ для пріема звуковыхъ волнъ и передачи ихъ нервной системѣ можетъ лежать сравнительно съ глазомъ глубже и быть болѣе защищеннымъ отъ внѣшнихъ вредныхъ вліяній.

Различаютъ наружную, среднюю и внутреннюю части слухового органа. Наружная часть (рис. 292) обнимаетъ собою ушную раковину, наружный слуховой проходъ A и барабанную перепонку B, средняя — барабанную полость C, ушную трубу D и слуховыя косточки E, F, G; внутренняя часть образована лабиринтомъ H — M.

Ушная раковина вмѣстѣ съ воронкообразнымъ наружнымъ слуховымъ проходомъ A служитъ для передачи барабанной перепонкѣ звуковыхъ волнъ, достигающихъ уха. Слуховой проходъ окруженъ спереди хрящемъ, сзади — височной и скалистой костью N, и имѣетъ такимъ образомъ вполнѣ безопасное положеніе въ самыхъ твердыхъ черепныхъ костяхъ. Выстилающая слу-

ховой проходъ кожа покрыта многочисленными волосами, препятствующими проникновенію постороннихъ тѣлъ, и ходами железъ, которыя выдѣляють *ушную сѣру, имѣющую цѣлью смягчать слуховой проходъ и барабанную перепонку*. Конецъ наружнаго слухового прохода образуетъ барабанная перепонка *B*, сухожильная плева, косолежащая въ костяномъ кольцѣ, которая, какъ перепонка, передаетъ идущія извнѣ волны барабанной полости *C*. Эта находится въ сообщеніи съ внѣшнимъ воздухомъ посредствомъ Евстахіевой или ушной трубы *D*, входящей въ верхнюю часть глотки. Цѣль этой трубы заключается въ томъ, чтобы предотвратить разрывъ барабанной перепонки отъ слишкомъ сильныхъ звуковыхъ волнъ: послѣднія имѣютъ доступъ къ перепонкѣ какъ чрезъ наружный слуховой проходъ, такъ и чрезъ Евстахіеву трубу, слѣдовательно съ обѣихъ сторонъ барабанной перепонки.



293. Слуховыя косточки.

Въ барабанной полости лежатъ слуховыя косточки (рис. 293), которыя колебанія барабанной перепонки *сообщаютъ лабиринту*. Онѣ носятъ названія: молотокъ *E*, наковальня *F* и стремя *G*. Рукоятка молота (2) сращена съ барабанной перепонкой; его головка (1) лежитъ на наковальнѣ, а отростокъ (3) послѣдней чрезъ посредство чечевицеобразнаго тѣльца (4) — на суставѣ (5) стремени, которое за исключеніемъ узкаго края сращено съ перепонкой въ овальномъ окнѣ лабиринта. Молотокъ и наковальня передаютъ волны слуховымъ косточкамъ, причемъ они посредствомъ мышечныхъ связокъ сращены съ окружающей стѣнкой полости.


294. Лабиринтъ (въ увеличенномъ видѣ).
A Преддверье, B улитка, C_1, C_2, C_3 три луговыхъ канала лабиринта, *a вѣтвь слухового нерва*, a_1, a_2, a_3 бутылообразныя расширенія луговыхъ каналовъ, b_1 шарообразная, b_2 эллиптическая сумка, *d* спиральная пластинка.

Внутреннее ухо состоитъ изъ преддверья *A* (рис. 294), улитки *B* и трехъ изогнутыхъ ходовъ C_1, C_2 и C_3. Помимо уже упомянутаго овальнаго окна, выходящаго въ преддверье, лабиринтъ связанъ съ барабанной полостью еще концомъ улитки, круглымъ окномъ *L* (рис. 292) или малой барабанной перепонкой. Три изогнутыхъ хода суть три, расположенные другъ къ другу подъ прямымъ угломъ, полукружные костные каналы, которые входятъ въ ампуллы a_1, a_2, a_3 (расширенія) и въ *трубчатые отростки эллиптическаго мѣшечка* b_2, *и наполнены*, какъ и вся внутренность лабиринта, особою жидкостью. Круглый мѣшечекъ b_1 направляетъ свои трубчатые отростки въ улитку.

Слуховой нервъ дѣлится въ преддверіи на двѣ вѣтви, которыя черезъ оба мѣшечка достигаютъ полукружныхъ каналовъ, соотвѣтственно, улитки. Въ самой улиткѣ онъ входитъ въ Кортіеву перепонку, содержащую до 3000 волоконъ, которыя наподобіе клавіатуры укрѣплены на обѣихъ сторонахъ спиральной пластинки, дѣлящей улитку пополамъ, и вѣроятно каждое изъ нихъ въ отдѣльности отвѣчаетъ только вполнѣ опредѣленному тону. По открытію, сдѣланному Максомъ Шульце, непосредственная передача колебаній слуховому нерву совершается только такъ называемыми слуховыми волосками; это микроскопически малыя волосообразныя пластинки, которыя возбуждаются колебаніями Кортіовыхъ волоконъ такъ же, какъ и колебаніями

жидкости лабиринта, и передають свои колебанія лежащимъ между ихъ корнями отросткамъ нервъ.

Итакъ ходъ звуковыхъ волнъ слѣдующій: собранныя наружнымъ ухомъ и наружнымъ слуховымъ проходомъ, они приводятъ барабанную перепонку въ колебанія, которыя чрезъ слуховыя косточки передаются овальному окну и лабиринту. Далѣе, вслѣдствіе колебанія воздуха въ барабанной полости, звуковыя волны чрезъ круглое окно достигаютъ преддверія, откуда онѣ сообщаются чрезъ посредство жидкости, ампуллы и рукава такъ же, какъ и Кортіевыхъ волоконъ, слуховымъ нервамъ и далѣе мозгу.

Какъ ни разнообразны и ни запутаны ряды волнъ, проникающихъ въ наше ухо, послѣднее обладаетъ въ высшей степени способностью отдѣлять другъ отъ друга парныя колебанія и относить ихъ къ отдѣльнымъ причинамъ. Въ шумѣ, непрерывно наполняющемъ внѣшній міръ, мы различаемъ грохотъ вагона, смѣхъ, разговоръ, пѣніе человѣка, щебетанье птицъ, тиканье часовъ, мы можемъ вѣрно ихъ анализировать, хотя всѣ они чрезъ колебательное движеніе слуховыхъ косточекъ вмѣстѣ и одновременно дѣйствуютъ на жидкость нашего лабиринта. Слуховой аппаратъ въ этомъ отношеніи заслуживаетъ безконечнаго удивленія: онъ сложенъ гораздо нѣжнѣе, чѣмъ даже глазъ. Послѣдній, когда мы смотримъ на зеркальную поверхность пруда, по которой въ двухъ или трехъ мѣстахъ брошены камни, хотя и можетъ отличить отдѣльныя системы колецъ, въ закругленной сѣткѣ, образованной наложеніемъ различныхъ системъ волнъ, но теряетъ эту способность, лишь только число такихъ точекъ сотрясеній становится большимъ. Напротивъ, въ оркестровой музыкѣ мы отличаемъ звуковыя фигуры каждаго отдѣльнаго инструмента, и привычное ухо можетъ среди сотни пѣвцовъ легко услышать поющаго фальшиво.



293. Ф. Рейсъ.

Телефоны. Въ заключеніе къ этому отдѣлу должно отнести описаніе двухъ приборовъ, изобрѣтеніе которыхъ не только причисляется всегда къ самымъ блестящимъ въ наукѣ, но изъ которыхъ одно сравнительно въ короткое время пріобрѣло выдающееся практическое значеніе, можно даже сказать, стало необходимымъ въ нашей современной общественной и обыденной жизни. Не только въ прежнія времена, но и въ 50-хъ годахъ нашего столѣтія было бы признано за фантастическую мечту, если бы кто высказалъ, что есть возможность чрезъ посредство телеграфной проволоки разговаривать съ человѣкомъ на сотни миль, такъ что онъ можетъ слышать собственнымъ ухомъ нашъ голосъ со всѣми его особенностями и оттѣнками

что онъ можетъ слышать нашъ смѣхъ, мелодію, которую мы поемъ, совершенно такъ, какъ если бы онъ стоялъ возлѣ насъ. И однако эта мнимая картина фантазіи приведена въ дѣйствительность съ высокою степенью совершенства.

Старшему преподавателю во Франкфуртѣ-на-Майнѣ, Филиппу Рейсу, принадлежитъ та заслуга, что онъ впервые возымѣлъ мысль и осуществилъ ее, — воспользоваться электромагнитнымъ телеграфомъ для того, чтобы сдѣлать возможнымъ слышать нашъ голосъ на большомъ разстояніи. Электромагнитный приборъ играетъ въ этомъ замѣчательномъ приспособленіи роль слуховыхъ косточекъ, которыя распространяютъ сотрясеніе отъ одной пластинки къ другой, далеко удаленной, при посредствѣ магнитныхъ колебаній желѣзнаго стержня.

Телефонъ Рейса представленъ на рис. 296 и имѣетъ слѣдующее устройство: на станціи *I* находится полый, снабженный спереди звуковымъ отверстіемъ *A*, ящичекъ, имѣющій въ своей вверхней части отверстіе, закрытое тонкой туго натянутой перепонкой. На этой перепонкѣ лежитъ тонкая платиновая пластинка *p*, а сверху приходится остріе упругаго платиноваго штифта *n*, который такъ приспособленъ, что онъ какъ разъ касается пластинки *p*, когда перепонка въ покоѣ, и касаніе это прерывается при колебаніи перепонки. Вслѣдствіе этихъ попеременныхъ касаній, замыкается и размыкается электрическій токъ, идущій отъ бунзеновской батареи *B* (3—4 элемента) чрезъ зажимъ *a* въ платиновую пластинку *p* и чрезъ штифтъ *n* во второй зажимъ; отъ послѣдняго проводъ направляется на станцію *II*, проходитъ спираль *CC* и возвращается въ батарею черезъ зажимъ *d* и соединенную съ нимъ проволоку *e*. Внутри спирали лежитъ тонкая желѣзная проволока, которая двумя своими концами закрѣплена въ двухъ, покоющихся на резонансной доскѣ *gg*, стойкахъ *ff*. Части *hi* и *kl* образуютъ на обѣихъ станціяхъ телеграфное приспособленіе, имѣющее цѣлью давать знать отдаленному слушателю о началѣ переговоровъ.

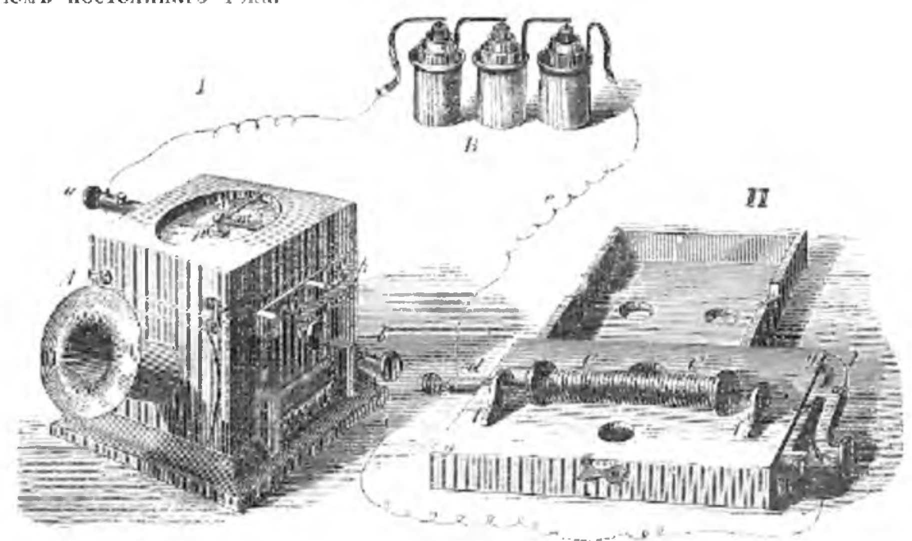
Воспроизведеніе звука, спѣтаго въ раструбъ *A*, основано на томъ, что желѣзный прутокъ, коль скоро онъ намагничивается и размагничивается проходящимъ по спирали электрическимъ токомъ, начинаетъ совершать продольныя колебанія; они ощущаются какъ звукъ, соотвѣтственно тому звуку, который спѣтъ въ приборъ въ мѣстѣ отправленія, и колебаніями котораго приводится въ движеніе перепонка. Резонансная доска служитъ для усиленія звука.

Уже въ октябрѣ 1861 г. Рейсъ произвелъ со своимъ приборомъ опыты, давшіе удовлетворительный результатъ. Умѣренно громко спѣтая мелодія была отчетливо передана приборомъ на разстояніи 100 метровъ. Однако приборъ Рейса страдалъ несовершенствами, препятствовавшими введенію его въ практику.

Именно, онъ могъ воспроизводить высоту и до нѣкоторой степени относительную силу звуковъ, но не оттѣнокъ звука, который какъ разъ при телефонированіи произносимыхъ словъ имѣетъ весьма важное значеніе. Ибо, какъ мы видѣли, рядомъ съ числомъ колебаній, обусловливающимъ высоту тона, и размахомъ или амплитудою, обусловливающею силу звука, есть еще форма колебанія, которая обусловливается обертонами, существенная для индивидуальнаго характера оттѣнка различныхъ музыкальныхъ инструментовъ, и особенно для оттѣнка человѣческаго голоса, рѣчи. Но форма колебанія хорошо передается не рядомъ отдѣльныхъ прерываній тока (Беллъ называетъ его пульсаторнымъ токомъ), но чрезъ постепенныя нарастанія и убыванія тока. Въ противоположность пульсаторнымъ токамъ Беллъ называетъ такія измѣненія тока волнообразными токами.

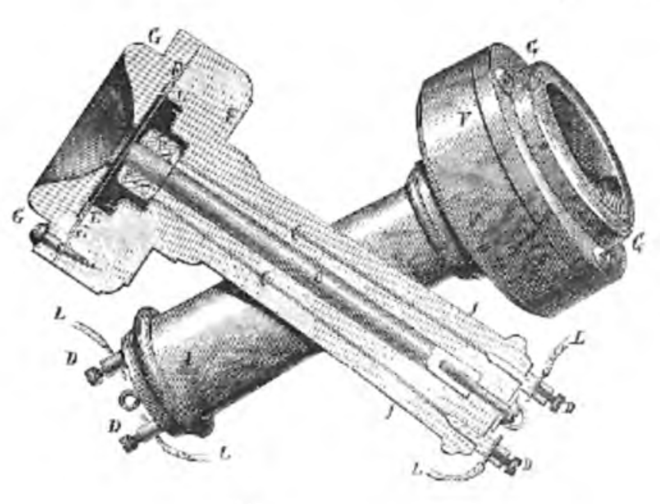
Въ телефонѣ Рейса подобные волнообразные токи не могли образоваться.

Прерыванія тока въ отправителѣ вызывали только прерывистое намагничиваніе пріемника, и слѣдствіемъ этого было то, что дѣйствительная передача звука разрушалась и заглушалась болѣе сильными сотрясеніями, происходившими отъ связанныхъ съ каждымъ колебаніемъ размыканіемъ и замыканіемъ постояннаго тока.



296. Телефонъ Рейса.

Для отчетливой передачи звука необходимо, чтобы пластинки какъ отправителя, такъ и пріемника выводились изъ своихъ положеній покоя въ крайнее положеніе токомъ, постепенно увеличивающимся, и чтобы при убываніи тока онѣ опять проходили черезъ первоначальныя положенія покоя. Рѣшить эту задачу удалось поразительно простымъ, геніальнымъ способомъ Александру Грему Беллю, родомъ изъ Эдинбурга, профессору въ Бостонѣ, въ 1877 году.



297. Телефонъ Белля.

Телефонъ Белля представленъ на рис. 297 и устроенъ слѣдующимъ образомъ: постоянный магнитъ въ формѣ стержня *A* окруженъ на одномъ полюсѣ короткой индукціонной спиралью *B* изъ тонкой обвитой мѣдной проволоки, оканчивающейся двумя болѣе толстыми проволоками *CC*, которыя помощью зажимовъ *DD* соединены съ проволоками *LL*. У одного полюса магнита помѣщена по краямъ зажатая пластинка *EE* изъ мягкаго листового желѣза.

Все вставлено въ деревянную оправу, которая въ части *GG* имѣетъ надъ

пластинкой EE воронкообразное отверстіе, служащее звуковымъ конусомъ; книзу деревянная оправа суживается, такъ какъ здѣсь она заключаетъ въ себѣ только магнитный стержень, закрѣпленный въ своемъ положеніи винтомъ, и два провода CC. Представимъ теперь, что на станціи отправленія и на пріемной станціи имѣется по такому телефону, и пусть ихъ индукціонныя спирали соединены между собою посредствомъ проводовъ LL к зажимовъ DD. Легко понять теперь дѣйствіе всей системы.

Именно, если пользоваться конусомъ GG какъ трубкою и говорить въ него, то пластинка EE передъ полюсомъ магнита приходитъ въ колебанія; вслѣдствіе этихъ колебаній мѣняется ея магнитное состояніе, а также и состояніе магнитнаго полюса, и въ спирали B возникаютъ индукціонные токи, измѣненія которыхъ соотвѣтствуютъ дѣйствующимъ на пластинку звуковымъ колебаніямъ и которыя идутъ черезъ провода LL въ спираль пріемнаго телефона.



298. Соединеніе беллевскихъ телефоновъ.

Эти токи, дѣйствуя на магнитный полюсъ, измѣняютъ его магнитное состояніе и черезъ это и магнитное дѣйствіе полюса на находящуюся предъ нимъ упругую пластинку. Послѣдняя подъ ихъ вліяніемъ приходитъ въ колебанія, которыя въ отношеніи ихъ числа и формы совпадаютъ съ передаваемыми колебаніями. Итакъ, электрическіе токи, возникающіе подъ дѣйствіемъ пластинки перваго телефона, отправителя, передаются пластинкою второго телефона, *пріемника, воздуху и черезъ него нашему слуховому проходу въ формѣ* звуковыхъ колебаній; слѣдовательно, стоитъ только держать около уха отверстіе второго телефона, чтобы ощущать эти колебанія. Тѣмъ же телефономъ можно, слѣдовательно, пользоваться двоякимъ образомъ, какъ говорною и какъ слуховою трубою.

Здѣсь тѣмъ менѣе можно входить въ подробности, касающіяся разнообразныхъ измѣненій и улучшеній телефона, сдѣланныхъ Сименсомъ, Эдисономъ, Адеромъ, Беттхеромъ и др., что телефонія обстоятельно излагается въ третьемъ томѣ „книги открытій". Здѣсь можно только указать на высокую степень чувствительности и вѣрности передачи, которыхъ достигъ телефонъ на практикѣ своимъ соединеніемъ съ микрофономъ, благодаря чему онъ уже теперь сталъ необходимымъ факторомъ въ торговыхъ сношеніяхъ и въ хозяйствѣ. Все это въ вышеупомянутомъ мѣстѣ изложено

подробно и въ связи съ другими способами сношенія, основанныхъ на электрическихъ дѣйствіяхъ. Здѣсь нужно еще только упомянуть, что д-ръ Фреляхъ сдѣлалъ видимыми движенія пластинки въ телефонѣ при пѣніи и разговорѣ: онъ помѣщалъ надъ ней пластинку и капсулу Кенига съ чувствительнымъ пламенемъ, которое наблюдалъ во вращающемся зеркалѣ. Формой изображеній пламени были подтверждены наблюденія, сдѣланныя въ телефонной практикѣ, что изъ гласныхъ значительно хуже всѣхъ другихъ воспроизводится и, а лучше всего а и о, и что колебанія пластинки телефона, хотя они и подобны колебаніямъ голосовымъ, но всегда выходятъ нѣсколько сложнѣе, наконецъ, что при произношеніи въ телефонъ согласныхъ почти совсѣмъ не получаются сокращенія пламени или только ничтожныя.

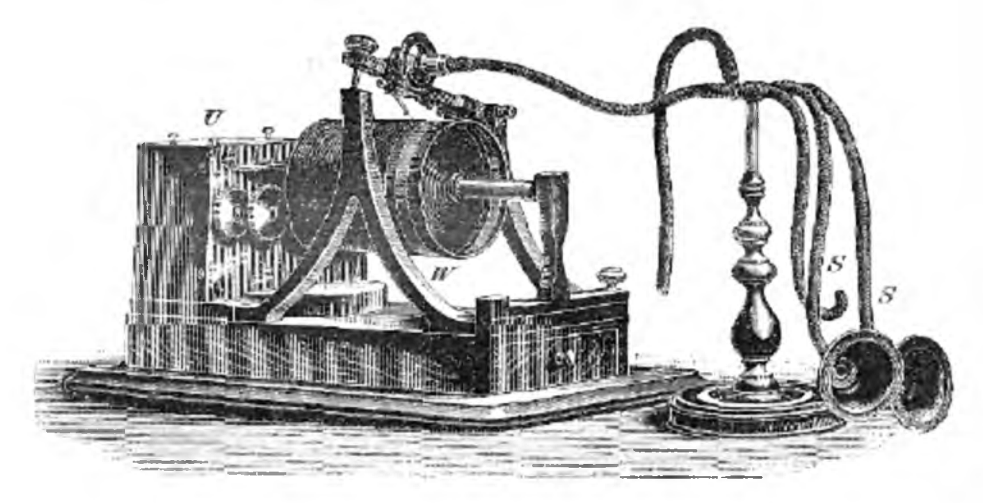


293. Т. Эдисонъ.

Фонографъ. Но еще поразительнѣе и изумительнѣе, нежели телефонъ, является изобрѣтеніе, позволяющее не только передавать на большія разстоянія произносимыя слова и спѣтую или сыгранную на инструментѣ или даже цѣлымъ оркестромъ мелодію, но также и сохранять ихъ въ продолженіе долгаго времени во всей ихъ своеобразности, такъ что послѣ произвольнаго числа лѣтъ голосъ этотъ можетъ опять быть вызванъ, та же пѣснь можетъ снова звучать, та же мелодія можетъ быть снова сыграна, и притомъ съ тѣмъ же выраженіемъ, съ которымъ они въ моментъ пріема на приборѣ были сказаны, спѣты или сыграны. Это интересное и замѣчательное изобрѣтеніе, сдѣланное Эдисономъ въ 1877 г., есть фонографъ. Ѳома Альва Эдисонъ, обладающій высокой степенью американскаго таланта изобрѣтенія, родился 11 февраля 1847 г. въ Миланѣ, маленькомъ, расположенномъ при каналѣ, городкѣ округа Эріе (Orio). Онъ провелъ первыя двѣнадцать лѣтъ своей жизни въ портѣ Гуронъ (Мичиганъ) и затѣмъ опредѣлился въ качествѣ train-boy на желѣзной дорогѣ (Grand-Trunk-Railway). Изъ этого ранняго времени намъ извѣстно только немногое, достойное упоминанія. Единственно выдающейся чертой въ его жизни была необыкновенная любовь къ чтенію, сохранившаяся въ немъ въ той же мѣрѣ и до сихъ поръ. На желѣзной дорогѣ въ одномъ старомъ багажномъ вагонѣ онъ устроилъ печатню и химическую лабораторію. Въ первой онъ печаталъ „Grand-Trunk-Herald“, въ послѣдней производились химическіе опыты, которые обыкновенно заканчивались маленькимъ пожаромъ или взрывомъ. Эти случаи были типичны для юноши Эдисона; его занимали разнообразные идеи и планы, къ выполненію которыхъ однако недоставало научнаго образованія. Въ возрастѣ 21 года Эдисонъ перешелъ въ Бостонъ и оттуда въ Нью-Іоркъ, гдѣ начало улыбаться ему счастье.

Здѣсь онъ изобрѣлъ родъ печатной машины, продажа которой доставила ему нѣкоторыя средства. Позже онъ сталъ директоромъ золото-указательной компаніи и устроилъ мастерскую для производства своихъ машинъ. Но онъ хотѣлъ быть не содержателемъ мастерской, а оставаться изобрѣтателемъ и поэтому *перемѣнилъ мѣсто своего жительства на паркъ Менло, гдѣ усердно работалъ* надъ усовершенствованіемъ лампъ накаливанія. Спустя нѣсколько лѣтъ онъ переѣхалъ въ паркъ Ливелинъ (Orange, New Jersey), такъ какъ его лабораторія оказалась слишкомъ малой, и построилъ тамъ лабораторію, которая должна считаться самою лучшею и великолѣпною изъ лабораторій подобнаго рода во всемъ свѣтѣ.

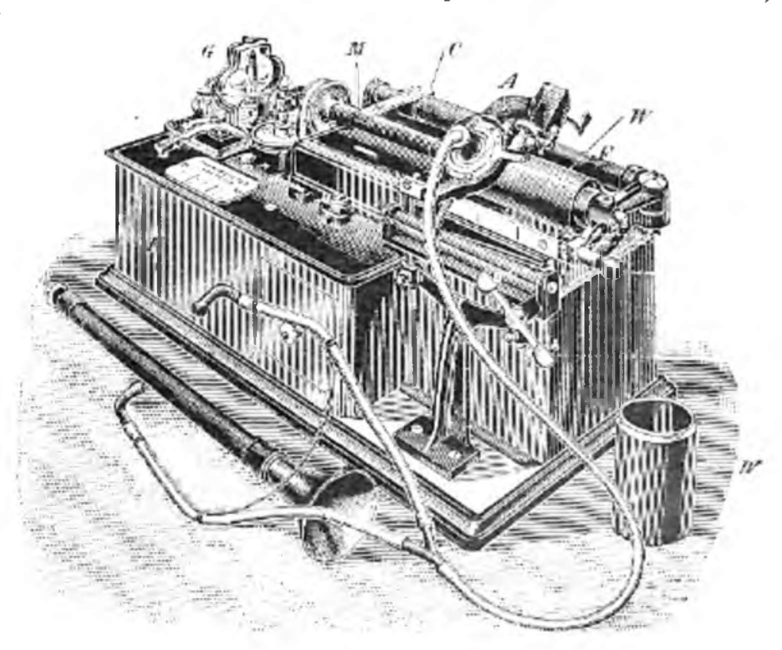
Но теперь къ фонографамъ! Принципъ говорной машины, фонографа, *въ существенныхъ чертахъ тотъ же, что и телефона. Звуковыя волны* помощью говорной трубы приводятся къ пластинкѣ, состоящей изъ крайне тонкаго стекла или слюды, и рѣзцомъ записываются на быстро вращающемся



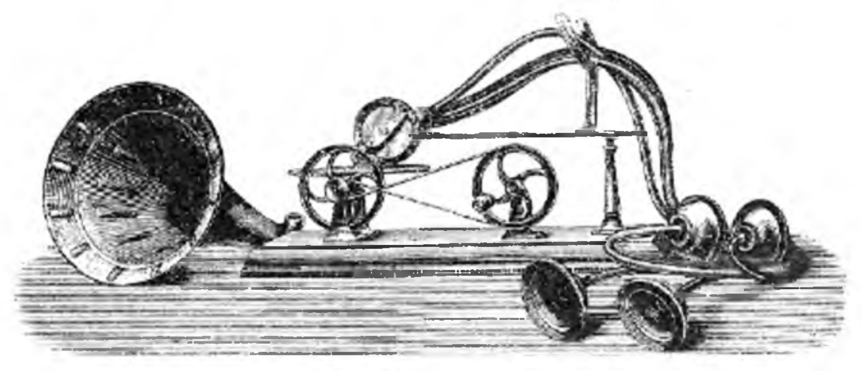
300. Простой фонографъ Эдисона.

подъ нимъ валѣ (на первой моделѣ, обклеенной листовымъ оловомъ). На полосѣ изъ листового олова получаются такимъ образомъ слѣды, форма которыхъ соотвѣтствуетъ колебаніямъ пластинки, слѣдовательно и падающихъ на нее звуковыхъ волнъ. Этой полосой листового олова можно снова пользоваться для полученія на томъ же приборѣ тѣхъ же звуковъ; для этого *подобно тому, какъ въ телефонѣ Белля, вызываютъ обратное явленіе:* при равномѣрномъ движеніи полосы рѣзецъ, прикрѣпленный къ пластинкѣ, ведется вдоль сдѣланныхъ имъ ранѣе бороздъ. Такимъ образомъ онъ долженъ теперь послѣдовательно повторять всѣ тѣ движенія, которыя производилъ ранѣе, какъ пріемникъ. Вслѣдствіе этого пластинка приводится рѣзцомъ въ тѣ же самыя колебанія, которыя прежде она сама передавала ему подъ дѣйствіемъ голоса и звука инструмента; пластинка слѣдовательно должна звучать подобно пластинкѣ телефона. *Дѣйствительно фонографъ воспроизводитъ всякій разговоръ,* пѣніе, свистъ и притомъ сколько угодно разъ. Всякій разъ, когда подъ рѣзцомъ двигаютъ оловянную полосу, опять звучитъ рядъ тѣхъ же самыхъ тоновъ, только медленнѣе или быстрѣе, смотря по скорости вращенія. Несмотря на свое поразительное исполненіе, фонографъ собственно мало распространенъ на практикѣ; пока онъ принадлежитъ къ числу интересныхъ приборовъ, которые хотя имѣютъ высокій научный интересъ, но служатъ *преимущественно для театральныхъ цѣлей.*

На рис. 300 представленъ простой фонографъ съ нѣсколькими говорными и слуховыми трубками, у котораго валъ W покрытъ полосой листового олова и приводится въ равномѣрное вращеніе помощью часового механизма U; тогда какъ рис. 301 даетъ наглядное представленіе о новѣйшемъ, самомъ совершенномъ фонографѣ Эдисона. Здѣсь (съ 1888 г.) обкладка вала листовымъ оловомъ замѣнена массой, подобной воску, точный составъ которой есть секретъ изобрѣтателя. Восковой цилиндръ W приводится во вращеніе находящимся въ ящикѣ K электродвигателемъ съ удивительно спокойнымъ и равномѣрнымъ ходомъ. Регуляторъ G чрезъ включеніе и выключеніе сопротивленій управляетъ скоростью вращенія цилиндра (125 оборотовъ въ минуту). Рычагъ A, поддерживающій говорную трубку и пластинку, покоится на салазкахъ; эти салазки передвигаются вдоль направляющаго бруска F помощью гайки съ винтовой нарѣзкой M, которая



301. Новѣйшій Эдисоновскій фонографъ.

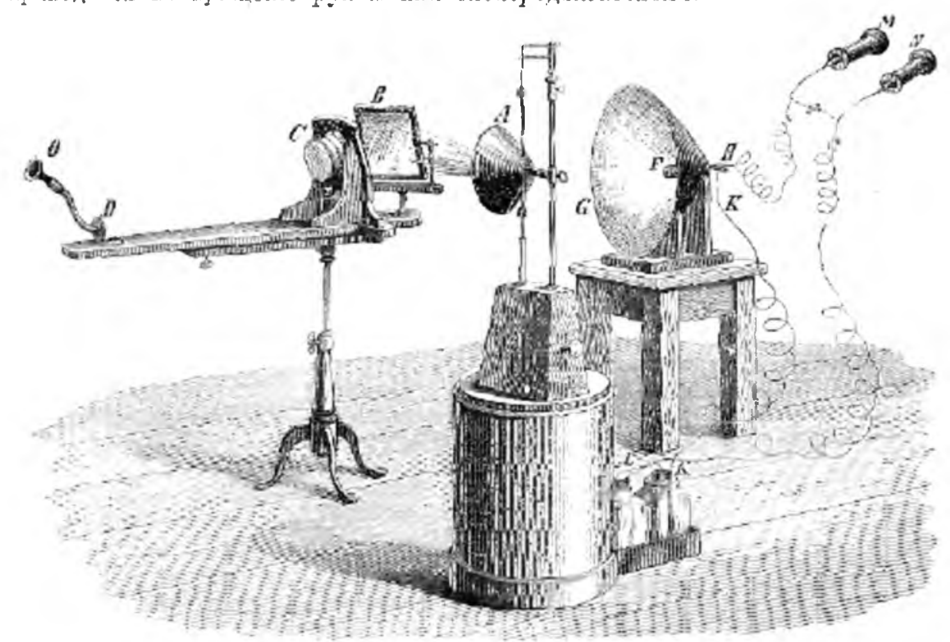


302. Граммофонъ.

лежитъ на валикѣ главнаго винта, имѣющаго мелкую нарѣзку и образующаго ось цилиндра C. Нарѣзка эта представляетъ образцовое произведеніе механики и имѣетъ 100 винтовыхъ ходовъ на 1 англійскій дюймъ (25,4 мм.). Два рычажка A и B служатъ для насаживанія гайки съ главнаго стержня. Пластинки фонографа состоятъ изъ очень тонкаго стекла; изъ нихъ одна имѣетъ острый рѣзецъ для записи колебаній пластинки на восковомъ цилиндрѣ,

другая — тупой рѣзецъ для ихъ воспроизведенія. Третья, нѣсколько болѣе *крѣпкая пластинка снабжена маленькимъ острымъ рѣзцомъ для того, чтобы* приведенные въ негодность восковые цилиндры вновь обтачивать и такимъ образомъ пользоваться ими для новыхъ записей. Для подробнаго ознакомленія съ отдѣльными деталями слѣдуетъ опять указать на вышеупомянутое мѣсто.

Граммофонъ есть видоизмѣненіе фонографа. Существенное отличіе его отъ фонографа заключается въ эбонитовой дощечкѣ, заступающей мѣсто восковаго цилиндра фонографа. Рычагъ съ пластинкой постепенно двигается *въ винтовой нарѣзкѣ въ направленіи радіуса дощечки, такъ что рѣзецъ чертитъ* на ней непрерывную весьма сжатую спираль. Эбонитовая дощечка приводится во вращеніе рукою или электродвигателемъ.



308. Фотофонъ Белля.

Въ *заключеніе къ описаніямъ фонографовъ нужно, наконецъ, упомянуть* еще объ одномъ остроумномъ, еще не вошедшемъ въ практику изобрѣтеніи, позволяющемъ передавать на разстояніе звуки, безъ помощи электрическихъ проводовъ, исключительно чрезъ излученіе. Приборъ этотъ изобрѣтенъ въ 1880 году Грамомъ Беллемъ и названъ фотофономъ. Принципъ его устройства слѣдующій: на станціи полученія находится телефонъ, въ которомъ вмѣсто магнитнаго сердечника вложенъ мягкій желѣзный стержень; *индукціонная спираль телефона вводится въ замкнутую цѣпь батареи,* дающей токъ постоянной силы. Часть этой цѣпи образована кускомъ селена, элемента, подобнаго сѣрѣ, который, какъ это впервые наблюдали Мей и Зала, а позже было подтверждено подробными опытами В. Г. Адамса и особенно Вернера Сименса, обладаетъ тою особенностью, что освѣщеніе вліяетъ на его гальваническую проводимость, именно увеличиваетъ ее. Въ моментъ, когда попадаетъ на селенъ свѣтъ, соотвѣтственно степени освѣщенія измѣняется *его гальваническое сопротивленіе, вслѣдствіе этого и сила* тока въ замкнутой цѣпи.

Свѣтъ же отъ отдаленной станціи можно направлять на пріемную станцію и сосредоточивать какъ разъ на кускѣ селена при помощи зеркалъ.

Предположимъ теперь, что на станціи отправленія пластинка, въ которую говорятъ, представляетъ изъ себя направленное на пріемную станцію зеркало; тогда его сотрясенія будутъ производить здѣсь попеременныя освѣщенія селена, продолжительность и сила которыхъ зависитъ отъ дѣйствующихъ звуковыхъ колебаній, и которыя вслѣдствіе однородныхъ измѣненій тока можно сдѣлать слышными на пріемной станціи помощью пластинки телефона.

На этихъ принципахъ Белль построилъ приборъ, изображенный на рис. 303; съ нимъ можно успѣшно производить опытъ на разстояніи 213 метровъ, практическаго же значенія онъ еще не имѣетъ. Правая сторона рисунка представляетъ пріемную станцію съ двумя телефонами *M* и *N*, батареей *KL* и находящимся въ фокусѣ вогнутаго зеркала *G* кускомъ селена *F*. Послѣдній освѣщается со станціи отправленія, представляющей лѣвую сторону рисунка, слѣдующимъ образомъ: отъ геліостата или электрической лампы *A* свѣтовой пучокъ падаетъ на зеркало *B*, отражается отъ него и сосредоточивается на пластинкѣ говорного телефона *OD*. Эта пластинка, состоящая изъ весьма тонкаго стекла, отражаетъ падающіе на нее лучи, которые чечевица *C* дѣлаетъ параллельными, къ пріемной станціи, гдѣ они вогнутымъ зеркаломъ *G* концентрируются на кускѣ селена *F*. Если теперь пластинка *D* приведена голосомъ въ колебанія, то прерывистые свѣтовые лучи падаютъ на кусокъ селена и вызываютъ мгновенныя усиленія и ослабленія тока *KFHMNL*. Послѣднія сообщаютъ пластинкамъ телефоновъ *MN* внятныя колебанія, соотвѣтствующія колебаніямъ пластинки *D*.

На принципѣ фотофона Белля основывается также радіофонъ или термофонъ, устройствомъ котораго занимался главнымъ образомъ Е. Меркадье. Въ немъ выступаютъ преимущественно термическія свойства лучей. Помощью какого-либо приспособленія пучокъ лучей дѣлаютъ прерывистымъ. Для этой цѣли стеклянный дискъ оклеивается черной бумагой, имѣющей нѣсколько концентричныхъ рядовъ равноотстоящихъ отверстій. Смотря по выбору ряда отверстій, на которыя во время вращенія диска заставляютъ падать пучокъ лучей, получаютъ опредѣленныя прерыванія, которыя при помощи подходящаго пріемника можно сдѣлать слышимыми, какъ звукъ. Въ качествѣ чувствительнаго пріемника по опытамъ Меркадье годится, напр. тонкій, закопченный съ одной стороны слюдяной дискъ, который укрѣпляется на нижнемъ краѣ слуховой трубы. Въ этомъ явленіи дѣло идетъ о тепловыхъ дѣйствіяхъ лучей, прерываемыхъ рядомъ отверстій вращающагося диска. Весьма быстро слѣдующія другъ за другомъ нагрѣванія пріемника вызываютъ колебанія, число которыхъ обусловливается числомъ нагрѣваній, такъ что высота тона зависитъ исключительно отъ числа прерываній тепловыхъ лучей.

Если эти формы приборовъ для разговора на далекое разстояніе до сихъ поръ и не нашли распространенія на практикѣ, все-таки онѣ имѣютъ безъ сомнѣнія высокій научный интересъ.

Свѣтъ. (Оптика.)

Сущность свѣта. Распространеніе его. Поляризація.

Представленіе древнихъ о сущности свѣта. Кеплеръ. Декартъ. Гюйгенсъ. Ньютонъ. Теоріи истеченія и волнообразнаго движенія. Распространеніе свѣта. Опредѣленіе скорости свѣта на основаніи наблюденій надъ затменіями спутниковъ Юпитера (Кассини и Рёмеръ). Аберрація. Брадлей. Способъ Физо. Поляризованный свѣтъ. Поляризаціонный аппаратъ Нёрренберга. Практическія примѣненія поляризаціи въ техникѣ. Микрогеологія. Сахариметрія.

Свѣтъ и теплота составляютъ основныя условія существованія всего органическаго міра; это тѣ дары, посредствомъ которыхъ солнце творитъ, даетъ и поддерживаетъ жизнь. Пища доставляетъ нашему тѣлу теплоту,

нашимъ мускуламъ силу, но мы оставались бы безпомощными существами, если бы мы не обладали органомъ для свѣта, а слѣдовательно и способностью воспринимать образы внѣшняго міра. Глазъ обогащаетъ насъ опытомъ, недостижимымъ помощью другихъ нашихъ органовъ чувствъ. Поэтому во всякомъ нарѣчіи свѣтъ и ясность, мудрость и просвѣтлѣніе, сопоставляются какъ близко-родственныя понятія. Хотя съ давнихъ поръ извѣстны, съ одной стороны, многія естественныя явленія, обусловленныя свѣтомъ, а съ другой стороны и нѣкоторыя основанныя на нихъ научныя и практическія примѣненія, но только въ новѣйшее время удалось достигнуть яснаго и удовлетворительнаго представленія о сущности свѣта.

Уже въ глубокой древности дѣлались попытки объясненія сущности свѣта. Но философы шли при этомъ ложнымъ путемъ. Зрѣніе представляли себѣ тогда какъ нѣкотораго рода ощущеніе простого прикосновенія. Предполагалось, что изъ глаза исходятъ какъ бы особыя тонкія щупальца, воспринимающія предметъ. Поэтому свѣтовое движеніе, какъ это высказано было въ приписываемомъ Эвклиду сочиненіи по оптикѣ, должно исходить не изъ наблюдаемаго тѣла, но изъ самого глаза. „Самый видъ нашихъ глазъ“, какъ говорится въ одномъ сочиненіи Геліодора изъ Лариссы, „которые не пусты, а устроены такъ же, какъ и другіе органы чувствъ, доказываетъ, что свѣтъ истекаетъ изъ нихъ“. Платонъ хотя уже сознавалъ недостаточность этой теоріи, но не могъ вполнѣ отъ нея отрѣшиться. Онъ дополнилъ ее только положеніемъ, что свѣтъ, какъ причина зрѣнія, долженъ исходить не только изъ глазъ, но также и изъ наблюдаемаго тѣла, и что впечатлѣніе зрѣнія вызывается столкновеніемъ обоихъ родовъ лучей.

Только Аристотель отбросилъ долго державшееся воззрѣніе, по которому глазъ сравнивался въ извѣстной степени съ фонаремъ. Глазъ не можетъ заключать въ себѣ нѣчто схожее съ огнемъ, онъ долженъ напротивъ состоятъ изъ чего-то водянистаго и прозрачнаго, такъ какъ зрительные нервы находятся на его задней стѣнкѣ; зрѣніе должно быть обусловлено какими-то движеніями прозрачной среды, заключающейся между наблюдаемымъ предметомъ и глазомъ.

Этотъ взглядъ, который можно уже разсматривать какъ зародышъ позднѣйшихъ оптическихъ теорій, выраженъ еще инымъ образомъ Лукреціемъ:

И такъ я сказалъ, поверхности тѣлъ изъ себя испускаютъ
Фигуры особыя, предметовъ точные образы;
Сравнить бы ихъ можно съ кожицей тонкой иль оболочкою ихъ;
Отъ тѣлъ отдѣлившись, онѣ пролетаютъ чрезъ пространства свободныя.

Такъ излагается въ стихотвореніи „De rerum natura“. Какъ у Аристотеля мы находимъ первые зачатки одержавшей теперь полную побѣду волнообразной теоріи, такъ выраженное въ стихахъ мнѣніе Лукреція напоминаетъ намъ въ своихъ основаніяхъ гипотезу истеченія свѣта.

Философы въ средніе вѣка уже разсматривали какъ положительную истину то положеніе, что свѣтъ испускается самими видимыми предметами (такъ это и излагалось между прочимъ въ „Оптикѣ“ Альгазена, извѣстнаго арабскаго ученаго). Но ни одинъ еще изъ тѣхъ ученыхъ, которые занимались изслѣдованіями различныхъ вопросовъ, касающихся ученія о свѣтѣ, не пытался въ то время примѣнить къ дѣлу математику.

Первый изъ ученыхъ, вставшихъ на путь точнаго и строгаго изслѣдованія оптическихъ явленій, былъ Кеплеръ. Самый свѣтъ онъ не разсматривалъ, какъ нѣчто матеріальное. Хотя онъ не высказывался опредѣленнымъ образомъ относительно сущности свѣта, но это не помѣшало ему вывести количественныя соотношенія, касающіяся зависимости напряженности свѣта отъ разстоянія, а также отраженія и преломленія его и т. п.

Такъ какъ онъ показалъ, что эти явленія подчиняются законамъ механики, и притомъ научилъ вполнѣ самостоятельнымъ образомъ примѣнять къ нимъ вычисленія, то ему именно наука должна быть особенно благодарна и за его первые опыты и за введенныя имъ впервые дѣйствительно полезныя понятія. О дѣйствительной сущности свѣта при его изысканіяхъ не было и рѣчи. Но если бы въ его время механическія науки были на столько же развиты, какъ теперь, то очень можетъ быть, что Кеплеру такъ же, какъ и Декарту, непосредственно слѣдующему за нимъ въ исторіи оптики, удалось бы легко поставить эту отрасль физики на тотъ путь, по которому наука въ своемъ движеніи могла бы избѣжать разногласія и споровъ между приверженцами двухъ упомянутыхъ гипотезъ, продолжавшихся въ дѣйствительности чуть не до настоящаго времени.

Вопросъ о внутренней природѣ свѣта былъ снова выдвинутъ прежде всего изученіемъ явленій преломленія. Мы не можемъ входить здѣсь въ большія подробности и должны удовольствоваться только замѣчаніемъ, что Декартъ былъ приведенъ явленіями отраженія къ мнѣнію, что свѣтовые лучи состоятъ изъ матеріальныхъ частичекъ и что они, подобно брошенному резиновому мячику, упавъ подъ нѣкоторымъ опредѣленнымъ угломъ на какое-либо препятствующее ихъ движенію тѣло, должны отскочить отъ него подъ тѣмъ же угломъ.

Это сравненіе могло бы быть допущено и для объясненія явленій преломленія, если бы предложить, что свѣтъ въ болѣе плотномъ тѣлѣ (какъ стекло, вода) движется быстрѣе, чѣмъ въ менѣе плотномъ тѣлѣ (напр. воздухъ). Ферматъ (Fermat) оспаривалъ возможность такого предположенія, утверждая, что въ болѣе плотной средѣ движеніе свѣта должно встрѣчать большее сопротивленіе, чѣмъ въ менѣе плотной. Эта эпоха развитія науки представляла поэтому особенную важность, такъ какъ въ ней впервые основной вопросъ относительно скорости свѣта получилъ вполнѣ опредѣленное значеніе. Если бы дѣйствительно скорость свѣта въ болѣе плотныхъ серединахъ была бы больше, чѣмъ въ менѣе плотныхъ, то явленія преломленія лучей могли бы быть объяснены допущеніемъ существованія мельчайшихъ свѣтоносныхъ частичекъ, выбрасываемыхъ свѣтящимися тѣлами (что служило бы опорой теоріи истеченія свѣта); если бы, наоборотъ, скорость распространенія свѣта оказалась бы на самомъ дѣлѣ меньшею при переходѣ лучей изъ менѣе плотной середины въ болѣе плотную, то гипотеза истеченія свѣта не могла быть допущена, и пришлось бы тогда искать другого какого-либо объясненія.

Вскорѣ же послѣ Декарта выступилъ Гукъ (Hooke, 1665), который утверждалъ, что свѣтъ обусловливается колебательными движеніями; но только Гюйгенсъ (Huyghens, 1690) впервые построилъ на этой идеѣ полную теорію, которую принялъ также и разработывалъ знаменитый математикъ Эйлеръ.

Въ предыдущихъ строкахъ представленъ общій обзоръ построенія первыхъ ступеней науки, развившейся впослѣдствіи въ стройное цѣлое и имѣющей въ настоящее время огромное значеніе, какъ практическое, такъ и теоретическое.

Если бросить камень на гладкую поверхность воды, то мы увидимъ, какъ объ этомъ уже говорилось въ отдѣлѣ „О звукѣ", рядъ круговыхъ волнъ, исходящихъ изъ точки удара и распространяющихся постепенно все дальше и дальше. Сама вода при этомъ не имѣетъ однако поступательнаго движенія, какъ въ этомъ можно убѣдиться, бросивъ на ея поверхность деревяжку; водяныя частицы только колеблются вверхъ и внизъ около одного и того же мѣста, подобно маятнику. Колебанія эти задерживаются постепенно и наконецъ прекращаются вслѣдствіе тренія, неизбѣжно сопровождающаго всякое движеніе.

Волна распространяется въ прямомъ направленіи, хотя форма ея представляетъ кругъ или, точнѣе говоря, поверхность шара, такъ какъ распространяется она не только по горизонтальной поверхности, но и вглубь.

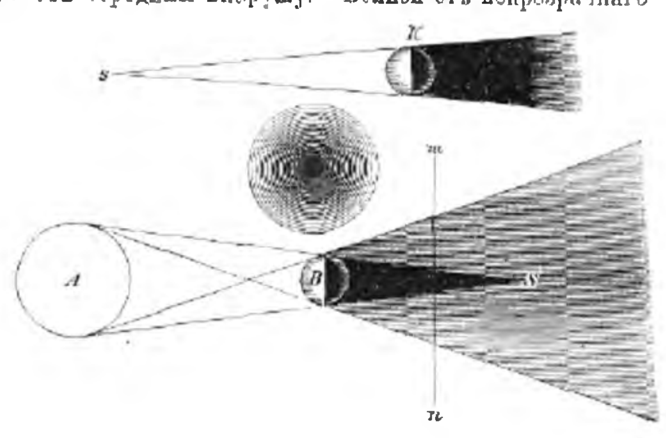
Какъ причина звука заключается въ возбуждающемъ слуховые нервы движеніи, такъ и причина свѣтовыхъ ощущеній, по Гюйгенсу, состоитъ въ волнообразномъ движеніи особой, чрезвычайно тонкой, распространенной по всей вселенной, упругой среды (свѣтовой эѳиръ), нами не ощущаемой, такъ какъ она настолько тонка, что частички ея движутся между атомами прозрачныхъ тѣлъ, какъ стекло и алмазъ; по Вильяму Томсону (лордъ Кельвинъ) одна кубическая миля свѣтового эѳира должна бы вѣсить около 0,5 мгр., а 1 куб. м. около 0,0000000000012 мгр. Когда свѣтовыя волны, распространяющіяся по законамъ волнообразнаго движенія, достигнутъ, пройдя черезъ глаза, глазныхъ нервовъ, то онѣ произведутъ впечатлѣніе свѣта, подобно тому, какъ воздушныя волны способны вызвать ощущеніе звука.

Въ „изотропной" средѣ, въ которой упругія и др. свойства по всѣмъ направленіямъ одинаковы, свѣтовыя волны, исходящія изъ нѣкоторой свѣтящей (вибрирующей) точки, распространяются равномѣрно во всѣ стороны, причемъ поверхность волны будетъ сферическая. Если же по разнымъ направленіямъ упругія свойства среды будутъ неодинаковы, то поверхность волны не будетъ уже шаровой. Это имѣетъ мѣсто въ кристаллахъ, не принадлежащихъ къ правильной системѣ; наблюдаемыя при этомъ разнообразныя явленія могутъ служить существеннымъ подспорьемъ теоріи Гюйгенса. Удивительно, что Ньютонъ не присоединился къ этой теоріи, весьма просто объясняющей всѣ свѣтовыя явленія. Причину этого надо по всей вѣроятности искать въ томъ, что Ньютонъ къ своимъ представленіямъ о сущности свѣта былъ наведенъ съ одной стороны явленіями удара упругихъ тѣлъ, а съ другой стороны открытымъ имъ знаменитымъ закономъ всемірнаго тяготѣнія. Ньютонъ считается самымъ выдающимся защитникомъ теоріи истеченія свѣта. По этой теоріи свѣтъ обусловливается неизмѣримо малыми упругими частичками, отбрасываемыми съ огромною скоростью свѣтящимися тѣлами. Когда такія частички ударятся о гладкую поверхность, то онѣ отскочатъ или отразятся отъ нея по закону удара упругихъ тѣлъ. Надо приписать громадному авторитету Ньютона то обстоятельство, что теорія истеченія преобладала надъ теоріей волнообразнаго движенія долгое время; даже и въ новѣйшее время она находила своихъ защитниковъ въ лицѣ выдающихся физиковъ Біо и Брюстера.

Въ настоящее же время принимается въ физикѣ только теорія волнообразнаго движенія, по которой свѣтъ вызывается особыми колебаніями, какъ объ этомъ училъ Гюйгенсъ. Теорія эта послѣдовательно разрабатывалась Юнгомъ, Френелемъ, Коши, Малюсомъ, Араго и др. какъ математически, такъ и экспериментально, и теперь достигла высокой степени совершенства и законченности. И физіологическія дѣйствія свѣта, изученныя главнымъ образомъ Гельмгольцемъ, находятся въ полномъ согласіи съ гипотезой волнообразнаго движенія свѣта.

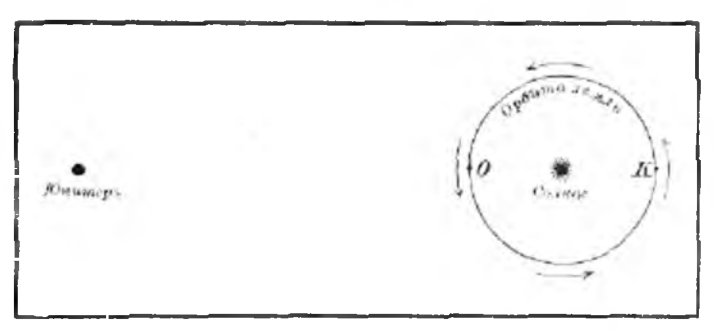
Распространеніе свѣта. Легко замѣтить, что свѣтъ распространяется во всѣ стороны по прямымъ направленіямъ. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно поставить какое-нибудь непрозрачное тѣло на прямой линіи между свѣтящейся точкой и глазомъ; тотчасъ же глазъ очутится при этомъ въ тѣни, и впечатлѣніе свѣта въ немъ исчезнетъ. Когда непрозрачное тѣло *K* будетъ освѣщено лучами, исходящими изъ одной свѣтящейся точки *s*, то крайніе лучи, ограниченные контуромъ тѣла, образуютъ коническую поверхность; по другую сторону тѣла эта поверхность даетъ границу тѣни (рис. 304). Если же источникъ свѣта составляетъ не точка, а свѣтящееся

тѣло A, то изъ каждой точки его поверхности исходятъ по всѣмъ направленiямъ лучи, и каждая изъ безчисленнаго множества такихъ точекъ образуетъ позади непрозрачнаго тѣла свой особенный конусъ тѣни. Но такъ какъ, какъ это видно на рисункѣ, эти конусы тѣни частью освѣщаются другими точками свѣтового источника, то полная тѣнь въ этомъ случаѣ будетъ ограничена еще полутѣнью, частная освѣщенность которой увеличивается по мѣрѣ удаленiя отъ середины внаружу. Вблизи отъ непрозрачнаго тѣла полная тѣнь окружена узкою оболочкою полутѣни, почему она довольно рѣзко ограничена; съ удаленiемъ же отъ тѣла переходъ отъ полной тѣни къ полутѣни становится все менѣе и менѣе отчетливымъ. Поэтому тѣнь отъ освѣщеннаго солнцемъ какого-либо тѣла, напр. иголки, кажется рѣзко ограниченной, если она получается на бумагѣ, помѣщенной рядомъ съ этимъ тѣломъ; на большомъ же разстоянiи тѣнь совсѣмъ незамѣтна.



304. Полная тѣнь и полутѣнь.

Что свѣтъ для своего распространенiя требуетъ извѣстнаго времени, это слѣдуетъ какъ изъ теорiи истеченiя, такъ и изъ теорiи волнообразнаго движенiя; весьма важно было поэтому найти средства и пути для измѣренiя скорости свѣта въ различныхъ тѣлахъ. Скорость эта чрезвычайно велика: ни одно движенiе на землѣ не можетъ намъ дать понятiе о ея величинѣ. Поэтому для такой особенной цѣли и способы измѣренiя должны быть примѣнены особенные. На изложенiи нѣкоторыхъ главнѣйшихъ изъ такихъ способовъ мы теперь и остановимся.



305. Способъ Ремера для опредѣленiя скорости свѣта.

Измѣренiе скорости свѣта. Обыкновенно принимается, что эта задача вообще была рѣшена впервые (1675) Олафомъ Рёмеромъ на основанiи наблюденiй надъ затменiями спутниковъ Юпитера. Планета эта окружена именно четырьмя лунами. Первый спутникъ обращается вокругъ планеты въ 42 часа 28 минутъ 36 секундъ, причемъ плоскости оборотовъ спутника и самой планеты (вокругъ солнца) совпадаютъ. Такимъ образомъ при каждомъ своемъ оборотѣ спутникъ этотъ входитъ въ тѣнь планеты и затмевается. Рёмеръ наблюдалъ вхожденiе спутника въ тѣнь Юпитера, а также и выхожденiе, т.-е. затменiя и просвѣтлѣнiя его, и нашелъ, что промежутки времени между двумя послѣдовательными затменiями или же двумя просвѣтлѣнiями, не остаются всегда одними и тѣми же. Они умень-

шаются, когда земля приближается къ Юпитеру (рис. 305), и увеличиваются при удаленіи земли. При удаленіи каждое послѣдующее затменіе какъ бы запаздываетъ, причемъ такое запозданіе, по наблюденіямъ Рёмера, оказалось равнымъ 16,5 минутъ, когда земля въ своемъ обращеніи вокругъ солнца перешла изъ ближайшаго своего положенія (*O*) къ Юпитеру въ наиболѣе отдаленное (*K*). Точки *O* и *K* удалены одна отъ другой на величину поперечника земного пути (эклиптики), равнаго, по вычисленіямъ Энке 41 393 520 миль.

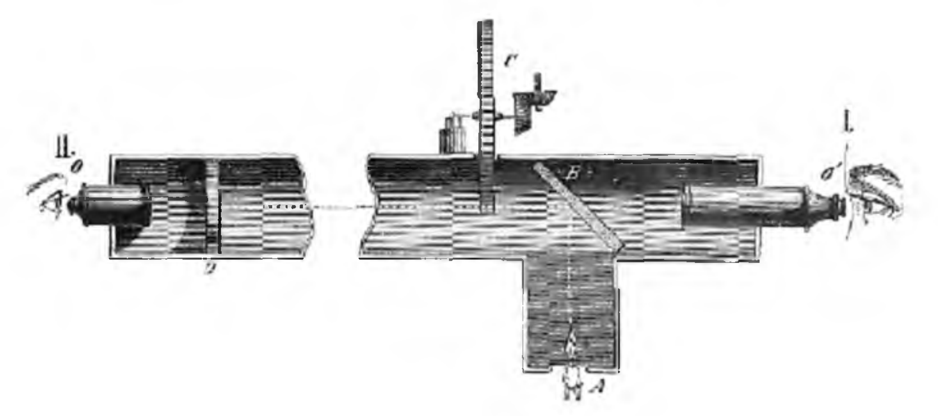
Относительно открытаго Рёмеромъ явленія запаздыванія затменій Доминикъ Кассини, какъ это доказалъ Монтюкля, сообщилъ астрономамъ въ томъ же 1675 году свой новый взглядъ, по которому измѣненія затменій происходятъ отъ того, что свѣтъ требуетъ опредѣленное время для достиженія отъ спутника Юпитера до насъ. Такъ какъ въ $42^1/_2$ часа земля можетъ приблизиться къ Юпитеру на 590 000 миль, то на столько меньшій путь надлежитъ пройти свѣтовымъ лучамъ; при удаленіи же земли лучамъ нужно за это время пройти лишній путь въ 590 000 миль, чтобы достигнуть земли, очевидно, на нѣкоторый соотвѣтствующій промежутокъ времени позднѣе. Кассини такимъ образомъ угадалъ истинную причину явленія. Тогдашнія измѣренія были, однако, слишкомъ не точны, почему и результаты получались недостаточно согласные между собою; это побудило Кассини впослѣдствіи отказаться отъ своей идеи. Между тѣмъ Рёмеръ, призванный Пикаромъ въ Парижъ, призналъ объясненіе Кассини вполнѣ правильнымъ, и ему удалось подтвердить и защитить это объясненіе даже противъ возраженій самого Кассини и его послѣдователей. Хотя поэтому честь пріоритета не могла быть признана за Рёмеромъ, но тѣмъ не менѣе ему должно быть по справедливости постановлено въ громадную заслугу передъ наукою установленіе и утвержденія даннаго принципа.

Если свѣтъ, какъ это нашелъ Рёмеръ, требуетъ 16,5 минутъ для прохожденія вдоль поперечника земной орбиты, или 14 секундъ на каждыя 590 000 миль, то въ одну секунду онъ проходитъ, слѣдовательно, около 42 000 миль.

Подтвержденіе измѣреній Рёмера дано 50 лѣтъ спустя (1729) англійскимъ астрономомъ Брадлеемъ, открывшимъ незначительныя кажущіяся годичныя движенія неподвижныхъ звѣздъ (аберрація свѣта). Явленіе аберраціи можетъ быть объяснено слѣдующимъ образомъ. Представимъ себѣ, что мы находимся на кораблѣ, движущемся очень быстро по рѣкѣ, и что съ берега въ него стрѣляютъ ядрами изъ пушки. Если бы корабль находился въ покоѣ, то ядро проскочило бы какъ разъ поперекъ него; если же бы при этомъ корабль находился въ движеніи, то каналъ, пробитый ядромъ, оказался бы отклоненнымъ отъ поперечнаго направленія, притомъ тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣе двигалось бы судно; если бы посмотрѣть черезъ пробитый ядромъ каналъ съ задней стороны, то переднее его отверстіе оказалось бы отклоненнымъ въ сторону движенія судна. Зная скорость движенія корабля и наклонъ канала, можно вычислить скорость полета ядра. Совершенно такимъ же образомъ и свѣтовые лучи, идущіе отъ какой-либо звѣзды, будутъ казаться какъ бы отклоненными въ сторону движенія земли. Корабль въ данномъ случаѣ замѣняетъ земля, а пробитый ядромъ каналъ представляетъ зрительная труба наблюдателя. Такъ какъ мы знаемъ скорость движенія земли по эклиптикѣ, а также можемъ опредѣлить наклонъ трубы, то по этимъ даннымъ можно вычислить и скорость распространенія свѣта. И на самомъ дѣлѣ Брадлей нашелъ по этому способу величину скорости свѣта, почти вполнѣ совпадающую съ той, какую нашелъ и Рёмеръ.

Гораздо болѣе точнымъ образомъ скорость свѣта была опредѣлена непосредственно опытнымъ путемъ, помощью весьма остроумно придуманныхъ приборовъ, французскими физиками Физо (Fizeau) и Фуко (Foucault). Для

объясненія способа Физо, представимъ себѣ четыре крыла вѣтряной мельницы и допустимъ, что время ихъ полнаго оборота составляетъ ровно 8 секундъ; тогда черезъ каждую секунду мѣсто одного крыла займетъ свободный промежутокъ, затѣмъ другое крыло, потомъ опять промежутокъ и т. д. Положимъ, что брошенный между крыльями 1 и 2 резиновый мячикъ ударяется въ противоположную какую-либо стѣну. Если бы крылья мельницы были въ покоѣ, то мячикъ, отскочивъ отъ стѣны, пролетѣлъ бы назадъ снова между тѣми же крыльями 1 и 2; но при вращеніи крыльевъ, мячикъ на обратномъ своемъ пути не прошелъ бы черезъ то же мѣсто. Если бы, напримѣръ, для его движенія впередъ и назадъ требовалась бы какъ разъ 1 секунда, то мячикъ не прошелъ бы уже назадъ черезъ промежутокъ между крыльями, а ударился бы въ самое крыло (2). Когда бы скорость полета мячика была въ два раза меньше, т.-е. ему требовалось бы 2 секунды для пролета впередъ и назадъ, то онъ на обратномъ пути прошелъ бы снова черезъ свободный промежутокъ, но уже не между крылями 1 и 2,



306. Способъ Физо для измѣренія скорости свѣта.

а между 2 и 3. Такимъ образомъ по скорости вращенія крыльевъ и по разстоянію отъ нихъ упомянутой стѣны можно опредѣлить скорость полета мячика, принимая въ расчетъ ту часть оборота вала мельницы, которая соотвѣтствовала двумъ послѣдовательнымъ пролетамъ мячика, впередъ и назадъ.

На томъ же принципѣ основанъ и аппаратъ Физо; его устройство только, соотвѣтственно самой цѣли, гораздо тоньше и тщательнѣе. Рис. 306 поясняетъ въ общихъ чертахъ устройство этого аппарата. Все приспособленіе состояло изъ двухъ главныхъ частей I и II, установленныхъ на разстояніи $7\frac{1}{2}$ км. одно отъ другого. Эти трубчатыя части помощью зрительныхъ трубокъ O и O′ направлялись въ точности одна противъ другой такъ, чтобы оси ихъ приходились на одной прямой линіи. Наблюдательная станція находится въ I. A есть сильный источникъ свѣта, B тонкая стеклянная пластинка, наклоненная подъ угломъ въ 45°, C зубчатое колесо, нижніе зубцы котораго приходятся какъ разъ на оси прибора. Ширина прорѣзовъ и зубцовъ при этомъ одинакова. Колесо это можетъ быть приведено въ быстрое вращеніе; число же оборотовъ и скорость ихъ могутъ быть контролированы и опредѣлены помощью особаго часового механизма. На другой станціи установлено зеркало D такимъ образомъ, чтобы отраженные пластинкой B свѣтовые лучи снова пошли назадъ по тому же пути.

Исходящіе изъ свѣтового источника лучи только частью отражаются стеклянной пластинкой B въ направленіи къ II, другая же часть ихъ про-

ходитъ сквозь эту прозрачную пластинку. Тѣ же лучи, въ свою очередь, которые, отразившись отъ зеркала D, снова достигли пластинки B, такимъ же образомъ частью проходятъ черезъ нее; эти лучи даютъ изображеніе въ трубкѣ O′ свѣтового источника A. Когда колесо C находится въ покоѣ и лучи проходятъ черезъ промежутокъ между его зубцами, тогда въ зрительную трубку это изображеніе покажется въ видѣ свѣтящейся точки; когда же колесо приведено во вращеніе, тогда свѣтовые лучи какъ бы разрѣзаются на отдѣльныя части, которыя слѣдуютъ одна за другой тѣмъ быстрѣе, чѣмъ быстрѣе вращается зеркало.

Каждый изъ такихъ свѣтовыхъ пучковъ пробѣгаетъ свой путь къ зеркалу и назадъ къ наблюдателю подобно тому резиновому мячику, который въ предыдущемъ примѣрѣ перебрасывался между крыльями вѣтряной мельницы. И свѣтъ долженъ такимъ же образомъ задерживаться, когда на его обратномъ пути онъ встрѣтитъ вмѣсто промежутка самый зубецъ. Если зубецъ только частью прерветъ свѣтовой пучокъ, то изображеніе видно будетъ слабо. Если же скорость вращенія колеса будетъ такова, что въ то время, когда свѣтовые лучи пройдутъ въ ту и другую стороны, на мѣстѣ промежутка очутится весь зубецъ, то тогда весь свѣтъ будетъ задерживаться и послѣдующими зубьями. Изображенія тогда вовсе не будетъ видно. Если начать вращать колесо быстрѣе, то снова станетъ проникать нѣкоторая часть свѣтового пучка; при двойной скорости вращенія получится наибольшее освѣщеніе, такъ какъ лучи, прошедшіе черезъ одинъ промежутокъ между зубцами, на обратномъ пути вполнѣ пройдутъ сквозь другой, сосѣдній промежутокъ и достигнутъ глаза наблюдателя. При тройной скорости вращенія опять получится темнота и т. д.

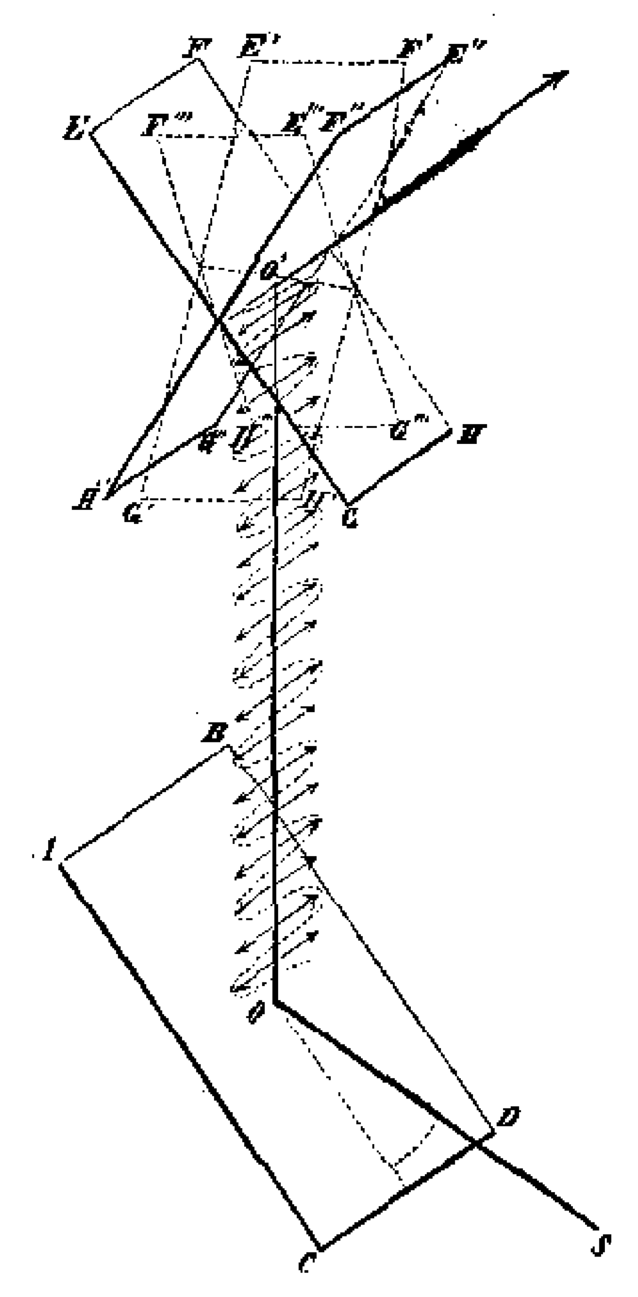
Колесо, примѣнявшееся въ опытахъ Физо, имѣло 720 зубцовъ; поэтому каждый зубецъ и каждый промежутокъ составляли $^1/_{1440}$ часть его окружности; разстояніе зеркала отъ зрительной трубы наблюдателя составляло круглымъ числомъ 1,15 мили. При 12,6 оборотахъ въ секунду послѣдовало первое затемненіе, при 25,2 оборотахъ получилась снова полная яркость и т. д. Отсюда выходитъ, что свѣту требуется приблизительно $^1/_{18\,000}$ секунды, чтобы пройти путь въ 2,3 мили и что слѣдовательно свѣтъ распространяется въ воздухѣ со скоростью примѣрно 42 000 миль въ секунду (или около 300 000 км.). Въ водѣ, стеклѣ и другихъ плотныхъ серединахъ скорость свѣта оказалась (по позднѣйшимъ опытамъ Фуко) меньшею, и такимъ образомъ получилось опытное рѣшительное подтвержденіе гюйгенсовой теоріи волнообразнаго движенія.

Чтобы достигнуть отъ солнца до земли, требуется для свѣта восемь минутъ, а отъ нѣкоторыхъ постоянныхъ звѣздъ нѣсколько лѣтъ; когда мы разсматриваемъ звѣздное небо, то мы не видимъ его такимъ, каково оно есть въ данный моментъ въ дѣйствительности, а такимъ, какимъ оно было много лѣтъ тому назадъ, и притомъ для различныхъ его областей и для отдѣльныхъ звѣздъ это время неодинаково, въ зависимости отъ ихъ разстояній. Какая-либо звѣзда могла бы вдругъ исчезнуть; между тѣмъ мы продолжали бы ее видѣть еще многіе годы; свѣтъ отъ нея продолжалъ бы распространяться въ безконечномъ пространствѣ и достигалъ бы нашего глаза, пока не подошла бы къ нему послѣдняя свѣтовая волна.

Поляризація свѣта. Свѣтъ, какъ мы видѣли, состоитъ въ волнообразномъ движеніи; притомъ надо принять, что частички свѣтового эѳира совершаютъ **поперечныя колебанія**, т.-е. перпендикулярныя къ направленію распространенія свѣта. Мы должны допустить, что въ обыкновенномъ свѣтовомъ лучѣ, обладающемъ со всѣхъ сторонъ одинаковыми качествами, частицы эѳира колеблются по всевозможнымъ направленіямъ, перпендикулярнымъ къ лучу. *Свѣтъ же называется* ***поляризованнымъ***, *когда попе-*

речныя колебанія всѣхъ принадлежащихъ лучу частицъ эѳира совершаются въ одной и той же плоскости, проходящей черезъ самый лучъ, подобно тому напр., какъ точки или частицы натянутой струны, приведенной ударомъ молоточка въ колебаніе, движутся взадъ и впередъ всѣ въ одной плоскости и перпендикулярно къ длинѣ струны. Это обозначеніе, поляризація свѣта, введено Ньютономъ на основаніи нѣкоторой аналогіи между свойствами свѣтовыхъ лучей, проходящихъ черезъ двоякопреломляющіе кристаллы, и свойствомъ полярности магнитовъ.

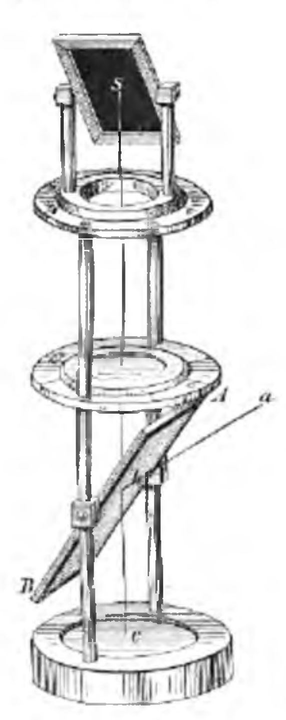
Свѣтъ, каково бы ни было его происхожденіе въ природѣ, есть ли онъ результатъ химическихъ процессовъ горѣнія, или тренія, или электричества и т. д., такъ же какъ доходитъ ли онъ до насъ отъ солнца или звѣздъ, онъ всегда вообще обыкновенный, неполяризованный; въ немъ частички эѳира колеблются по всевозможнымъ поперечнымъ направленіямъ. Но есть возможность выдѣлить изъ этого свѣта лучи съ колебаніями, совершающимися въ одной плоскости или въ параллельныхъ плоскостяхъ; мы имѣемъ возможность слѣдовательно поляризовать свѣтовые лучи. Приборы, служащіе для этой цѣли, называются поляризаціонными аппаратами. Уже въ 1669 г. Эразмъ Бартолинусъ замѣтилъ, что свѣтъ, проходящій черезъ кристаллъ известковаго (исландскаго) шпата, распадается на два пучка лучей, отличающихся своими свойствами отъ обыкновенныхъ свѣтовыхъ лучей. Онъ наблюдалъ также, что въ иныхъ случаяхъ такое раздѣленіе лучей не происходитъ. Гюйгенсъ же установилъ условія, необходимыя для этого, и вообще объяснилъ явленіе на основаніи волнообразной теоріи. Но только послѣ того, какъ Малюсъ въ 1809 г. въ Парижѣ случайно замѣтилъ, что отраженные отъ противоположныхъ оконъ солнечные лучи обладаютъ тѣми же свойствами, какъ и лучи, прошедшіе сквозь известковый шпатъ, явленіе поляризаціи было изучено подробнѣе, и самимъ же Малюсомъ найденъ былъ законъ этого явленія.



307. Поляризація свѣта.

Для наблюденія и изученія явленій поляризаціи Нёрренбергъ устроилъ особый приборъ, основной принципъ котораго можетъ быть уясненъ помощью рис. 307. Тѣ же явленія поляризаціи, которыя наблюдаются при помощи кристалловъ исландскаго шпата, могутъ быть получены и при отраженіи свѣта подъ нѣкоторымъ опредѣленнымъ угломъ отъ различныхъ пластинокъ. Для различныхъ тѣлъ уголъ полной поляризаціи различенъ; для стекла онъ равняется 35,5 град. Пусть *ABCD* представляетъ стеклянную пластинку, на которую падаетъ подъ угломъ 35,5^0 къ ней пучокъ свѣтовыхъ лучей *SO*; часть свѣта пройдетъ сквозь пластинку, а другая часть отразится подъ тѣмъ же угломъ и пойдетъ по направленію *OO'*. Въ этихъ отраженныхъ лучахъ колебанія эѳирныхъ частичекъ будутъ между собой параллельны или будутъ всѣ совершаться въ параллельныхъ плоскостяхъ, проходящихъ черезъ направленія лучей, что представляетъ характеристическую особенность по-

ляризованныхъ лучей. Плоскость колебанія и направленія движеній въ ней обозначены на чертежѣ пунктирной волнообразной линіей и стрѣлками. Плоскость SOO' называется плоскостью поляризаціи; она перпендикулярна плоскости колебаній. Заставимъ поляризованный свѣтъ упасть на второе зеркало $EFGH$, наклоненное къ лучамъ OO' подъ тѣмъ же угломъ въ $35{,}5^0$; мы въ состояніи будемъ тогда замѣтить особенныя свойства этихъ лучей. Если мы станемъ поворачивать это второе зеркало такимъ образомъ, чтобы наклонъ его относительно лучей OO' сохранялся все время тѣмъ же самымъ, т.-е. будемъ вращать его около оси OO', то съ обыкновеннымъ свѣтомъ, не поляризованнымъ, мы ничего, какъ извѣстно, особеннаго не замѣтили бы; но въ данномъ случаѣ, когда на это зеркало падаютъ лучи, уже отразившіеся отъ перваго зеркала и потому поляризованные, мы замѣтимъ при поворачиваніи второго зеркала измѣненіе яркости изображенія. Притомъ въ двухъ положеніяхъ зеркала, именно $EFGH$ и $E'''F'''G'''H'''$, лучи будутъ вполнѣ отражаться, и яркость видимаго изображенія будетъ наибольшая; въ другихъ же положеніяхъ яркость будетъ меньшая и наконецъ въ положеніяхъ $E'F'G'H'$ и $E''F''G''H''$ лучи вовсе не будутъ отражаться. Если вращать, слѣдовательно, верхнее зеркало въ направленіи часовой стрѣлки изъ положенія $EFGH$ на цѣлый оборотъ, то яркость изображенія въ немъ будетъ постепенно уменьшаться, и черезъ четверть оборота получится полная темнота; послѣ этого изображеніе будетъ становиться все свѣтлѣе и свѣтлѣе и при полуоборотѣ достигнетъ снова наибольшей своей яркости; затѣмъ черезъ три четверти оборота получится опять темнота. Итакъ, въ двухъ противоположныхъ положеніяхъ получится наибольшая яркость, а въ другихъ двухъ — темнота.



308. Поляризаціонный аппаратъ Нерренберга.

Самый поляризаціонный аппаратъ Нёрренберга изображенъ на рис 308. Внизу имѣется горизонтальное зеркало C, надъ которымъ находится прозрачная стеклянная пластинка AB на горизонтальной оси. Далѣе вверхъ на штативѣ помѣщается діафрагма (круглый прорѣзъ), которую можно поворачивать по раздѣленному кругу. Наконецъ на самомъ верху имѣется кольцо съ двумя столбиками, поддерживающими непрозрачную черную стеклянную пластинку S. Это верхнее зеркало можно поворачивать какъ около горизонтальной оси, такъ и вмѣстѣ съ кольцомъ около вертикальной оси. *Поляризація* свѣтовыхъ лучей на приборѣ достигается слѣдующимъ образомъ: нижнюю пластинку AB поворачиваютъ такъ, чтобы она составляла съ вертикальной линіей уголъ въ 35,5 градусовъ. Лучи, падающіе на эту пластинку и составляющіе съ ней этотъ уголъ въ $35{,}5^0$, отразятся частью отъ нея книзу по вертикальному направленію, причемъ будутъ, вслѣдствіе этого, поляризованы. Достигнувъ нижняго зеркала C, эти лучи отразятся отъ него въ направленіи Cb, пройдутъ большею частью черезъ пластинку AB и упадутъ на верхнее зеркало S, которое также должно быть установлено подъ угломъ въ $35{,}5^0$ къ вертикали. Когда оба зеркала (AB и S) поставлены параллельно другъ другу, то верхнее изъ нихъ вполнѣ отразитъ падающіе на него снизу лучи, и наблюдателю, смотрящему на него, покажется поле зрѣнія свѣтлымъ. Если же поворачивать постепенно зеркало S около вертикальной оси, то наблюдатель замѣтитъ упомянутыя уже

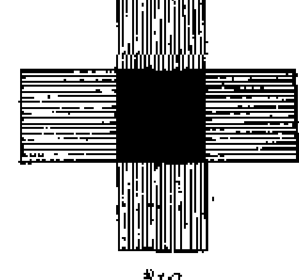
измѣненія яркости поля. Нижнее зеркало *AB* называютъ поляризаторомъ, а верхнее *S* анализаторомъ.

Араго, занимавшійся наравнѣ съ Френелемъ тщательными изслѣдованіями поляризаціи, открылъ въ 1811 г., послѣ того какъ изучена была поляризація посредствомъ преломленія и отраженія, что поляризованные лучи при прохожденіи ихъ черезъ нѣкоторыя тѣла обнаруживаютъ при извѣстныхъ условіяхъ особенныя свойства. Такъ напр., отбрасываемые голубымъ небомъ частью поляризованные лучи кажутся безцвѣтными, если смотрѣть на нихъ сквозь пластинку слюды или гипса; но если свѣтъ будетъ еще проходить черезъ двоякопреломляющую призму известковаго шпата (такъ называемую николеву призму), поставленную между кристаллической пластинкой и глазомъ, то онъ окажется ярко окрашеннымъ. Это блестящее явленіе цвѣтной или хроматической поляризаціи вызывается не только упомянутыми слюдяными или гипсовыми пластинками, но вообще всякимъ двоякопреломляющимъ кристалломъ, если черезъ него и затѣмъ черезъ известковую призму пропустить поляризованные лучи. При этомъ это явленіе служитъ надежнымъ средствомъ для того, чтобы отличить двоякопреломляющее тѣло отъ простого.

Для объясненія всѣхъ этихъ явленій мы предположимъ, что всепроницающій свѣтовой эѳиръ обладаетъ нѣкоторыми опредѣленными механическими свойствами. Какъ въ механикѣ приходится по извѣстнымъ правиламъ складывать и разлагать силы и движенія, такъ и въ данномъ случаѣ мы будемъ разсматривать сложеніе и разложеніе колебаній свѣтового эѳира. Такъ, мы можемъ судить о дѣйствіи отраженія свѣта отъ зеркала на поляризацію лучей, принявъ во вниманіе законъ параллелограмма силъ; каждое изъ различныхъ поперечныхъ колебаній разложится при этомъ на два взаимно перпендикулярныхъ; одно изъ нихъ, именно перпендикулярное къ плоскости зеркала, поглотится; другое же, параллельное зеркалу, отразится отъ него. Такъ же и внутри нѣкоторыхъ кристалловъ, какъ напр. въ исландскомъ шпатѣ, колебанія каждаго луча разлагаются на два взаимноперпендикулярныхъ колебанія, причемъ раздѣляется и самый лучъ, и по выходѣ изъ кристалла получаются уже два поляризованныхъ луча.



309.



310.

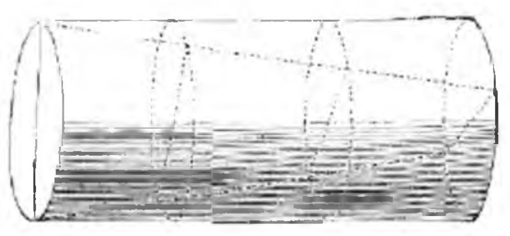
Турмалиновыя пластинки съ параллельными и перпендикулярными осями.

Свѣтовой лучъ, падающій на турмалиновую пластинку, отшлифованную параллельно кристаллической ея оси, разлагается въ ней на два взаимно перпендикулярно поляризованныхъ луча; колебанія одного изъ нихъ будутъ совершаться параллельно кристаллической оси, а колебанія другого будутъ перпендикулярны оси; эти послѣднія колебанія поглощаются турмалиномъ. Если поэтому на пути лучей поставить еще вторую турмалиновую пластинку такъ, чтобы оси обѣихъ пластинокъ были между собою параллельны, то свѣтъ свободно пройдетъ черезъ обѣ пластинки (рис. 309). Но если вторую пластинку помѣстить такъ, чтобы обѣ оси были взаимно перпендикулярны, то свѣтъ, прошедшій черезъ первую пластинку, поглотится второю, и въ мѣстѣ перекрещиванія пластинокъ получится темнота (рис. 310).

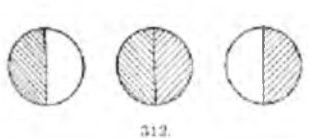
Николь (Nicol) устроилъ изъ исландскаго шпата, надлежащимъ образомъ разрѣзаннаго, особую призму, которая пропускаетъ сквозь себя только одинъ изъ двухъ поляризованныхъ лучей. Такая николева призма представляетъ очень удобный приборъ для полученія поляризованныхъ свѣтовыхъ лучей.

Помощью поляризаціонныхъ приборовъ можно изучать различныя прозрачныя тѣла, которыя на первый взглядъ могутъ казаться одинаковыми,

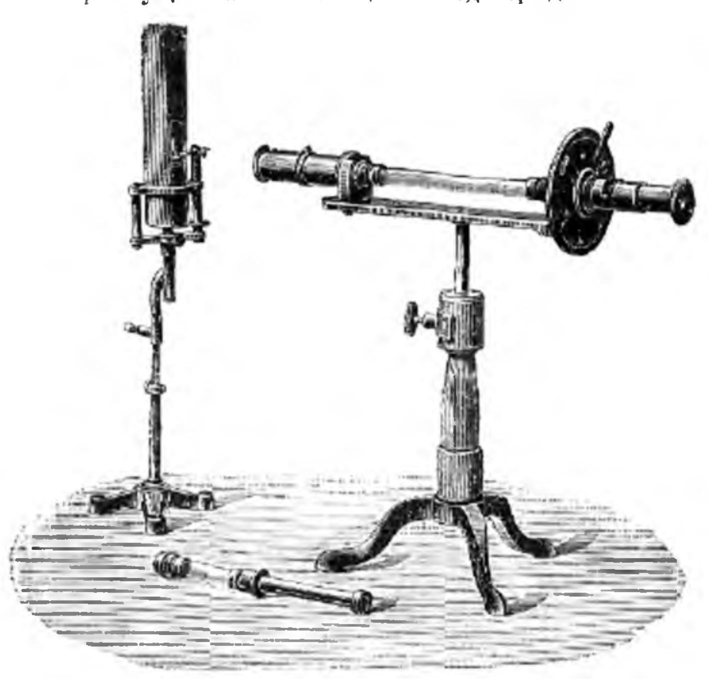
но которыя между тѣмъ весьма различны по ихъ внутреннему строенію. Такъ напр., горный хрусталь и обыкновенное стекло въ своихъ массахъ кажутся совершенно сходными тѣлами; но если ихъ разсматривать помощью описаннаго уже поляризаціоннаго аппарата, положивъ ихъ на діафрагму между поляризаторомъ и анализаторомъ, то горный хрусталь представится ярко окрашеннымъ въ *различные цвѣта, тогда какъ стекло* останется бѣлымъ. Только закаленное, быстро охлажденное стекло или стекло, подверженное сильному сжатію, обнаруживаютъ подобныя же цвѣтныя явленія. Поэтому поляризаціонные аппараты могутъ служить не только для распознанія изучаемыхъ прозрачныхъ тѣлъ, ихъ кристаллографической системы, способа ихъ образованія (простые или двойные кристаллы) и т. п., но, до извѣстной степени, и для сужденія объ обстоятельствахъ, при которыхъ образовались кристаллы. Такъ какъ тѣ же явленія наблюдаются и въ самыхъ малыхъ частичкахъ тѣлъ, то изученіе ихъ подъ микроскопомъ (именно помощью поляризаціоннаго микроскопа) можетъ въ иныхъ случаяхъ представить значительныя преимущества. Блестящимъ подтвержденіемъ этого служатъ микроскопическія изслѣдованія отшлифованныхъ въ чрезвычайно тонкія пластинки различныхъ горныхъ породъ; изслѣдованія эти въ короткое время привели къ самымъ удивительнымъ результатамъ, которые не могли быть достигнуты другимъ путемъ.



311. Вращеніе плоскости поляризаціи въ сахариметрѣ.



312.



313. Полутѣневой сахариметръ Лорана.

Кромѣ того растворы нѣкоторыхъ веществъ оказываютъ *замѣчательное* вліяніе на колебанія проходящихъ черезъ нихъ поляризованныхъ лучей. Такъ напр., растворъ сахара поворачиваетъ плоскость поляризаціи проходящихъ черезъ него свѣтовыхъ лучей, притомъ тѣмъ больше, чѣмъ гуще растворъ и чѣмъ больше длина проходимаго въ немъ лучами пути. Въ трубкѣ опредѣленной длины, закрытой по концамъ стеклянными пластинками и наполненной сахарнымъ растворомъ, уголъ вращенія плоскости поляризаціи прямо

зависитъ отъ качества раствореннаго сахара. Въ техникѣ такой опытъ имѣетъ большое значеніе, именно въ сахарномъ производствѣ, такъ какъ онъ даетъ возможность опредѣлить содержаніе сахара въ сиропѣ. И въ медицинѣ онъ находитъ примѣненіе, какъ средство распознанія (діагноза) и опредѣленія, при извѣстныхъ болѣзняхъ почекъ, количество сахара или бѣлка въ мочѣ. Приборы, примѣняемые на сахарныхъ заводахъ и служащіе для изслѣдованія сахарныхъ растворовъ, называются сахариметрами. Такой приборъ состоитъ въ главнѣйшихъ своихъ частяхъ изъ металлической трубки, закрытой на концахъ стеклянными пластинками и съ особымъ отверстіемъ для наливанія въ нее испытуемой жидкости; передъ обоими стеклышками помѣщаются николевы призмы, поляризаторъ и анализаторъ, причемъ одна изъ призмъ (анализаторъ) заключена въ оправу съ указателемъ, который при поворачиваніи призмы даетъ возможность опредѣлить на неподвижномъ кругѣ съ дѣленіями уголъ вращенія. Обѣ призмы можно предварительно поставить такимъ образомъ, чтобы поляризованный первой призмой свѣтъ не могъ пройти черезъ вторую призму (анализаторъ). Когда же между ними будетъ введенъ сахарный растворъ, то вслѣдствіе вращенія имъ плоскости поляризаціи свѣтъ снова будетъ проходить черезъ анализаторъ; чтобы возстановить темноту, нужно повернуть анализаторъ на нѣкоторый уголъ, величина котораго и укажетъ на процентное содержаніе сахара. Оказалось впрочемъ болѣе удобнымъ устанавливать анализаторъ не на наибольшую яркость или на темноту, а пользоваться при установкѣ его другимъ критеріемъ. Бѣлый свѣтъ состоитъ изъ множества цвѣтныхъ лучей. Если свѣтъ проходитъ черезъ сахарный растворъ, то плоскости поляризаціи различныхъ составныхъ цвѣтныхъ лучей будутъ поворочены на различные углы, соотвѣтственно порядку расположенія цвѣтовъ въ радугѣ, такъ что колебанія красныхъ лучей будутъ повернуты наименѣе, колебанія желтыхъ, зеленыхъ и синихъ болѣе, а фіолетовыхъ болѣе всѣхъ. Если, поэтому, поворачивать анализаторъ, то поле зрѣнія при бѣломъ свѣтѣ не станетъ просто болѣе или менѣе темнымъ, а будетъ казаться окрашеннымъ въ различные цвѣта въ указанномъ порядкѣ. Въ такомъ рядѣ всевозможныхъ цвѣтовыхъ оттѣнковъ выдѣляется особенно одинъ пурпурнофіолетовый (teinte de passage), легко узнаваемый, и который при малѣйшемъ поворотѣ анализатора въ ту или другую сторону рѣзко измѣняетъ свою окраску; этотъ оттѣнокъ поэтому можетъ быть быстро найденъ и анализаторъ точно установленъ. (Примѣняются и другіе критеріи при установкѣ анализатора въ сахариметрахъ болѣе сложнаго устройства, чѣмъ здѣсь описанный; но останавливаться на нихъ здѣсь было бы неумѣстно; подробности устройства различныхъ сахариметровъ можно найти между прочимъ въ подробныхъ курсахъ физики, напр. въ курсѣ проф. О. Д. Хвольсона. — Н. Г.)

Въ новѣйшее время въ сахариметріи вообще избѣгаютъ установокъ, основанныхъ на измѣненіи или сравненіи цвѣтовыхъ оттѣнковъ, потому что онѣ представляютъ значительныя затрудненія при изслѣдованіяхъ окрашенныхъ жидкостей. Примѣняются теперь почти исключительно такъ называемые полутѣневые сахариметры (à pénombre), установка въ которыхъ производится на равное освѣщеніе обѣихъ половинъ поля зрѣнія. Если повернуть анализаторъ чуть-чуть въ ту или другую сторону, то тотчасъ же равенство освѣщенія нарушится, одна половина поля станетъ темнѣе, а другая свѣтлѣе (см. рис. 312). Во время опытовъ черезъ такой приборъ пропускается однородный желтый свѣтъ отъ такъ называемаго натріеваго пламени (газовое пламя, въ которое вводится поваренная соль — хлористый натрій). На рис. 313 изображенъ полутѣневой сахариметръ (Лорана) фирмы Шмидта и Гевша въ Берлинѣ. Отличается этотъ приборъ отъ описаннаго выше простого прибора Мичерлиха тѣмъ, что передъ анализаторомъ въ немъ

имѣется небольшая зрительная труба, а около поляризатора помѣщается тоненькая кварцевая пластинка, прикрывающая только половину поля зрѣнія. Когда между анализаторомъ и поляризаторомъ будетъ поставлена трубка съ сахарнымъ растворомъ, то предварительно установленное равенство освѣщенія обѣихъ половинъ поля зрѣнія нарушится и, чтобы его возстановить, надо повернуть анализаторъ на нѣкоторый уголъ, который опредѣляется на кругѣ съ дѣленіями помощью ноніуса съ точностью до $^1/_{20}$ доли градуса. Длина трубки обыкновенно подбирается такая, чтобы одному градусу соотвѣтствовалъ одинъ граммъ сахара въ 100 куб. см. жидкости.

Фотометрія.

Напряженность или сила свѣта. Законъ разстояній. Платиновыя единицы свѣта Віоля и Сименса. Карсельская лампа, спермацетовыя и параффиновыя свѣчи. Единица физико-техническаго государственнаго учрежденія. Тѣневой фотометръ Румфорда. Фотометры Ричи, Бунзена, Луммера и Бродгуна и Л. Вебера. Сравнительная сила нѣкоторыхъ свѣтовыхъ источниковъ.

Напряженность или сила свѣта. Такъ какъ свѣтъ распространяется во всѣ стороны, то напряженность его должна уменьшаться, по простому геометрическому закону, какъ квадраты разстояній. Вообразимъ себѣ свѣтящуюся точку въ центрѣ полаго шара: исходящіе изъ нея лучи должны распредѣлиться равномѣрно по всей поверхности шара. Если мы представимъ себѣ теперь, что та же свѣтящаяся точка окружена другимъ шаромъ, радіусъ котораго въ два раза больше, то и эта бóльшая поверхность будетъ такъ же освѣщена тѣми же лучами равномѣрно. Но такъ какъ шаровыя поверхности относятся между собою какъ квадраты ихъ радіусовъ, т.-е. въ нашемъ случаѣ какъ 1 : 4, то на каждую единицу второй поверхности придется всего четверть количества или напряженности свѣта сравнительно съ единицею поверхности перваго шара, такъ какъ одно и то же количество свѣта падаетъ *какъ на всю малую, такъ и на большую поверхности.* Поэтому на разстояніи 2 м. свѣча освѣщаетъ въ 4 раза слабѣе, чѣмъ на разстояніи 1 метра.

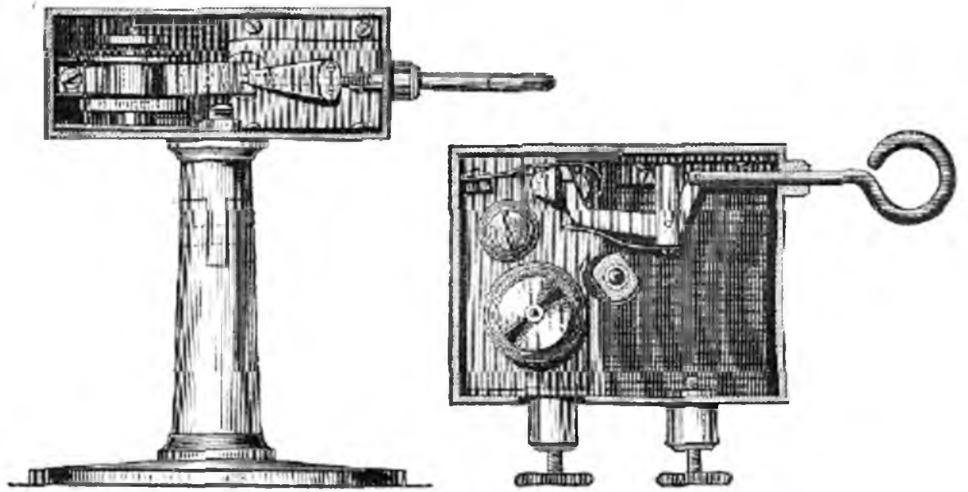
Для измѣренія силы свѣта придуманы разнообразные остроумные способы. Разработка и описаніе ихъ составляютъ предметъ особаго отдѣла оптики, **фотометріи**, которая въ особенности въ послѣднее время пріобрѣла огромное практическое значеніе, вслѣдствіе между прочимъ значительнаго распространенія электрическаго освѣщенія, почему этотъ отдѣлъ изложенъ здѣсь, сравнительно, подробно.

Подъ **полною силою** свѣтового источника подразумѣваютъ количество свѣта, посылаемаго имъ на замкнутую, окружающую его поверхность; **среднею силою источника** называютъ полную силу, раздѣленную на 4π; **силою же свѣта или силою освѣщенія въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи** называется количество свѣта, испускаемое источникомъ на единицу площади, перпендикулярной къ данному направленію и отстоящей отъ источника на единицу разстоянія.

Платиновая свѣтовая единица Віоля. По предложенію французскаго физика Віоля (Violle) на международномъ конгрессѣ электриковъ въ 1884 году въ Парижѣ было постановлено принять за единицу бѣлаго свѣта то количество свѣта, которое испускается квадратнымъ сантиметромъ, въ перпендикулярномъ къ нему направленіи, расплавленной чистой платины при температурѣ ея затвердѣванія. За единицу каждаго однороднаго свѣта принимается количество свѣта того же рода, которое испускается въ перпендикулярномъ направленіи квадратнымъ сантиметромъ расплавленной чистой

платины при ея затвердѣваніи. Такая единица носитъ названіе **платиновой свѣтовой единицы Віоля.**

Платиновая свѣтовая единица Сименса. Такъ какъ віолевскую единицу воспроизвести очень трудно, то Вернеръ Сименсъ для удобства ея полученія построилъ особый приборъ, въ которомъ расплавлялась тонкая платиновая пластинка помощью гальваническаго тока, причемъ свѣтовыя измѣренія производились во время этого расплавленія. Принималось при этомъ, что для химически чистой платины количество испускаемаго ею свѣта одно и то же, какъ при расплавленіи, такъ и при затвердѣваніи. Платиновая пластинка заключается въ небольшой металлической коробкѣ (рис. 314 и 315), въ одной изъ стѣнокъ которой сдѣлано коническое отверстіе, суживающееся внутрь, съ наименьшимъ поперечнымъ сѣченіемъ ровно въ $^1/_{10}$ кв. см. Сейчасъ же за этимъ отверстіемъ находится пластинка, которая раскаляется постепенно усиливаемымъ гальваническимъ токомъ, пока



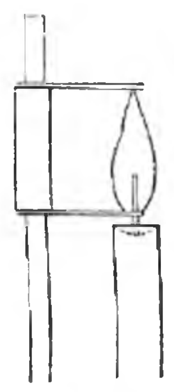
314 и 315. Платиновая свѣтовая единица Сименса.

она не расплавится. Такимъ образомъ въ моментъ ея расплавленія, передъ самымъ прекращеніемъ свѣта, изъ отверстія выходятъ свѣтовые лучи, соотвѣтствующіе ровно $^1/_{10}$ віолевской единицы. Посредствомъ вдвиганія и выдвиганія стержня, дѣйствующаго на особый захватывающій механизмъ, можно быстро продвинуть къ отверстію другую часть платиновой ленты, намотанной на катушку, и тотчасъ же возобновить опытъ.

Віоль расплавлялъ 1 клгр. платины въ тиглѣ изъ негашенной извести посредствомъ друммондова пламени (образуемаго горѣніемъ въ кислородѣ водорода). Этотъ способъ плавленія, какъ оказалось изъ опытовъ, произведенныхъ въ физико-техническомъ государственномъ учрежденіи, даетъ однако ненадежные и неточные результаты; но и другой способъ, въ которомъ для полученія гладкой и чистой поверхности платина расплавлялась токомъ отъ аккумуляторовъ, не привелъ къ удовлетворительнымъ результатамъ, какъ это показали опыты въ томъ же учрежденіи. Приходится поэтому пока воздерживаться отъ примѣненія какъ единицы Віоля, такъ и отъ единицы Сименса, оказавшейся также непрактичной.

Простыя техническія свѣтовыя единицы. На практикѣ примѣняютъ какъ единицы для измѣренія силы свѣта особыя **лампы** и **свѣчи**, которыя всегда и всюду могутъ быть безъ затрудненія приготовлены. О наиболѣе употребительныхъ изъ нихъ мы здѣсь и упомянемъ.

Французская карсельская лампа (La lampe de Carcelle) имѣетъ круглую свѣтильню и заключаетъ въ себѣ сурѣпное масло. Цилиндрическая свѣтильня, 30 мм. ширины, окружена стеклянпымъ цилиндромъ, имѣющимъ перехватъ или суженіе на высотѣ пламени. Высота пламени, къ которому притекаетъ воздухъ какъ изнутри, такъ и снаружи, составляетъ 40 мм. Масло доставляется свѣтильнѣ изъ сосуда, находящагося внизу лампы, посредствомъ простого часового механизма. Лампа обладаетъ надлежащею свѣтовою силою, когда она потребляетъ очищеннаго сурѣпнаго масла 42 гр. въ часъ. Если расходъ масла колеблется между 40 и 44 гр. въ часъ, то сила свѣта принимается пропорціональною расходу. Измѣреніе высоты пламени производится или посредствомъ циркуля или же двумя горизонтальными проволоками, которыя можно перемѣщать вдоль вертикальнаго стержня (рис. 316).

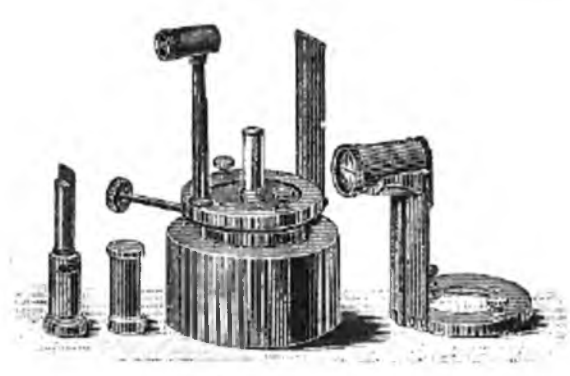


316. Измѣреніе высоты пламени.

Англійская нормальная спермацетовая свѣча при высотѣ пламени въ 45 мм. должна расходовать въ часъ 7,77 грамма. Для опредѣленія расхода матеріала служатъ особые свѣчные вѣсы.

Нѣмецкая нормальная параффиновая свѣча, изготовляемая подъ наблюденіемъ нѣмецкаго общества спеціалистовъ газоваго и водяного дѣла, имѣетъ въ поперечникѣ 20 мм., причемъ на 1 кгр. ихъ приходится 12 штукъ; высота пламени должна поддерживаться въ 50 мм.

Существенный шагъ впередъ образуетъ сравнительно съ только-что описанными свѣтоизмѣрительными приспособленіями устройство Гефнеромъ фонъ Альтенекомъ особой лампы съ уксуснокислымъ амиломъ, предназначенной служить единицею свѣта. Сплошная свѣтильня заполняетъ нейзильберовую трубку, въ 8 мм. ширины внутри и 8,3 мм. наружнаго поперечника и выступающей изъ сосуда на 25 мм. Высота пламени, считая отъ края трубки, должна равняться 40 мм. Измѣренія слѣдуетъ начинать не ранѣе, какъ черезъ 10 минутъ послѣ зажженія лампы.



317. Лампа Гефнера.

Рис. 317 изображаетъ лампу Гефнера съ нѣкоторыми ея принадлежностями. Латунный цилиндрическій сосудъ имѣетъ емкость примѣрно въ 1/4 литра. Свѣтильня, которую помощью зубчатки можно подымать и опускать, состоитъ изъ 15—20 отдѣльныхъ толстыхъ, но мягкихъ нитей.

Для измѣренія высоты пламени служитъ особый визирный приборчикъ. По опытамъ Либенталя сила свѣта измѣняется на каждый мм. свыше 40 мм. на 2,5 или 3%. Уксусно-кислый амилъ долженъ быть взять совершенно чистый (точка кипѣнія между 138° и 140°). Лампа Гефнера вполнѣ удовлетворяетъ всѣмъ требованіямъ техники и примѣняется въ ней поэтому, какъ единица свѣта, весьма часто.

Новая свѣтовая единица физико-техническаго государственнаго учрежденія. Въ учрежденіи этомъ (Phys.-techn. Reichsanstalt), послѣ того какъ были произведены тщательныя изслѣдованія надъ

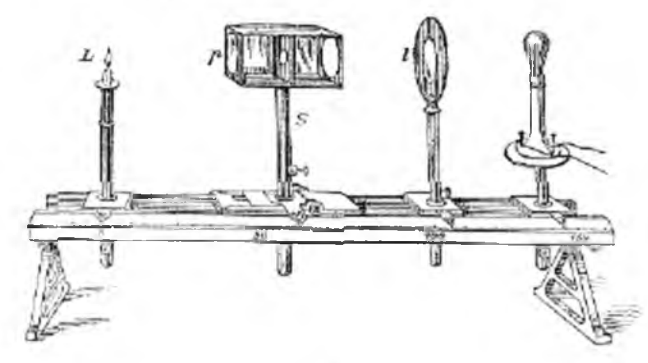
единицами Віоля и Сименса, причемъ оказалось, что ни та, ни другая не даютъ достаточно надежныхъ и точныхъ результатовъ, была въ последнее время установлена новая световая единица, основанная на томъ факте, что химически чистая раскаленная (но не расплавленная) платина при определенной постоянной температуре испускаетъ всегда одно и то же количество световой энергіи.

Поэтому предложено считать за единицу силы света то количество света, которое испускается однимъ квадратнымъ сантиметромъ раскаленной платины при определенной температуре. Эта температура платины определяется такимъ образомъ, чтобы полное лучеиспусканіе находилось въ известномъ отношеніи къ той части лучей, которая пропускается некоторой поглощающей средой; при этомъ мерою обоихъ световыхъ количествъ служитъ обусловливаемое ими нагреваніе болометра (см. отделъ о гальванизме). Поглощающею средой служитъ определенной толщины слой воды, заключенный между двумя параллельными кварцевыми пластинками.



318. Фотометръ Ричи.

Способъ практическаго воспроизведенія такой световой единицы следующій: раскаленная посредствомъ электрическаго тока платиновая пластинка освещаетъ черезъ діафрагму въ 1 кв. сант. болометръ сперва непосредственно, другой же разъ сквозь поглощающую среду. Отношеніе между двумя силами освещенія измеряется отношеніемъ между соответствующими отклоненіями въ гальванометре, соединенномъ съ болометромъ. Если изменять силу тока до техъ поръ, пока упомянутое отношеніе не станетъ равнымъ 10, то количество света, испускаемое въ нормальномъ направленіи платиной черезъ діафрагму, и будетъ соответствовать единице силы света.

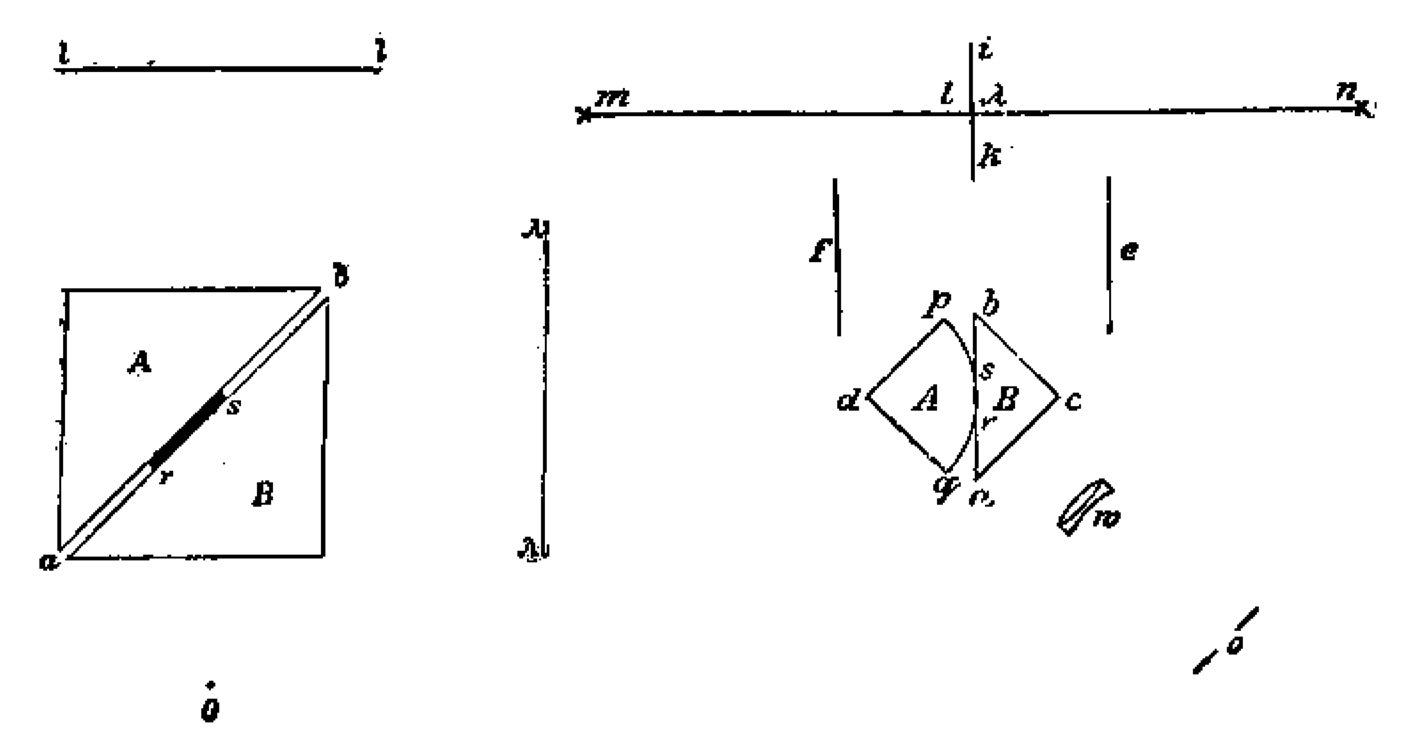


319. Фотометръ Бунзена.

Приборъ для накаливанія платины состоитъ изъ мраморной плитки, поддерживаемой треножникомъ; черезъ плитку проходятъ снизу две медныя проволоки, сообщающіяся съ двумя находящимися на ней латунными брусками. Платиновая пластинка въ 60 мм. длины, 25 мм. ширины и 0,015 мм. толщины, прикрепляется къ этимъ брускамъ. Токъ, доставляемый батареей аккумуляторовъ въ 32 вольта, можетъ регулироваться помощью реостата въ пределахъ 50—80 амперъ. На мраморную плитку ставится металлическій колоколъ съ двойными стенками, между которыми наливается вода; въ вертикальной стенке сделано отверстіе 1—4 кв. см. для помещенія діафрагмы. Поглощательный сосудъ состоитъ изъ цилиндрическаго стекляннаго кольца, отверстія котораго закрыты двумя параллельными кварцевыми пластинками, каждая въ 1 мм. толщины; между ними заключается слой воды въ 2 см. толщины. Такимъ образомъ въ любое время можетъ быть воспроизведена единица силы света съ точностью до 1%. Световая единица для различныхъ цветныхъ источниковъ можетъ быть просто получена, если подобрать надлежащее соотношеніе между лучеиспусканіями.

Измереніе силы света. Сравненіе и определеніе силы света про-

изводится вообще на основаніи физіологическаго дѣйствія свѣта на глазъ. Но самъ по себѣ глазъ обладаетъ слишкомъ незначительною способностью для сужденія о степени яркости съ количественной стороны; вспомогательными средствами въ этомъ отношеніи служатъ ему особые приборы, фотометры. Назначеніе фотометровъ заключается въ томъ, чтобы предоставить глазу благопріятныя условія для сравненія и оцѣнки свѣтовыхъ источниковъ. При устройствѣ фотометровъ пользуются почерпнутымъ изъ опыта фактомъ, что глазъ можетъ сравнительно легко судить о равенствѣ освѣщенія двухъ рядомъ лежащихъ и равномѣрно освѣщенныхъ поверхностей, и что онъ еще легче и надежнѣе можетъ замѣтить, одинаково ли свѣтлѣе или темнѣе два освѣщенныхъ поля сравнительно съ третьимъ полемъ, симметрично относительно нихъ расположеннымъ. Чувствительность глаза къ различенію контрастовъ превосходитъ раза въ два чувствительность его къ сужденію о



320 и 321. Устройство фотометра Луммера и Бродгуна.

равенствѣ освѣщенія. Устроиваютъ фотометры, основанные какъ на равенствѣ освѣщенія, такъ и на контрастѣ.

Здѣсь будутъ описаны только наиболѣе употребительные фотометры.

Простые техническіе фотометры. Одинъ изъ старѣйшихъ фотометровъ — тѣневой фотометръ Румфорда или Ламберта. Передъ бѣлымъ экраномъ ставится близко къ нему непрозрачный вертикальный стерженекъ. Испытуемые оба источника свѣта помѣщаются такимъ образомъ, чтобы обѣ тѣни отъ стерженька приходились рядомъ одна около другой, и чтобы оба пучка лучей падали на экранъ подъ одинаковыми углами. Если передвиженіемъ одного изъ источниковъ будутъ тѣни сдѣланы одинаково темными, то силы свѣта обоихъ источниковъ будутъ относиться между собою какъ квадраты ихъ разстояній отъ освѣщаемыхъ ими тѣней.

Въ фотометрѣ Ричи (рис. 318) лучи отъ двухъ сравниваемыхъ источниковъ L_1 и L_2 падаютъ на два зеркала S_1 и S_2, поставленныхъ подъ углами въ 45° относительно полупрозрачнаго экрана; одинъ изъ источниковъ передвигаютъ настолько, чтобы освѣщеніе экрана было одинаково съ двухъ сторонъ. Силы источниковъ расчитываются такимъ же образомъ, какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Фотометръ Бунзена. Этотъ фотометръ самый распространенный и самый употребительный. Въ своемъ простѣйшемъ видѣ онъ состоитъ изъ вертикально поставленнаго бумажнаго листа, на серединѣ котораго имѣется круглое жирное пятно. Сравниваемые источники свѣта помѣщаются по обѣ

стороны этого бунзеновскаго экрана. Масляное пятно преимущественно пропускаетъ свѣтовые лучи, а чистая бумага ихъ главнымъ образомъ отражаетъ. Передвигая экранъ между источниками, можно найти такое его положеніе, при которомъ пятно, разсматриваемое въ нѣкоторомъ его направленіи, исчезнетъ. Это положеніе будетъ другое, если смотрѣть на экранъ съ другой его стороны. Опредѣливъ оба эти положенія, мы въ состояніи будемъ найти отношеніе между силами свѣта источниковъ.

Точнѣе можно получить искомое отношеніе, если примѣнить къ даннымъ измѣреніямъ способъ подстановки, взявъ для опытовъ еще третій, вспомогательный постоянный источникъ свѣта; способъ этотъ заключается въ томъ, что испытуемые источники попеременно сравниваются съ вспомогательнымъ источникомъ, поставленнымъ на нѣкоторомъ постоянномъ разстояніи отъ экрана, причемъ ихъ по очереди передвигаютъ такъ, чтобы пятно не было видно. Исчезновеніе пятна надо, разумѣется, наблюдать при этомъ въ обоихъ случаяхъ съ одной и той же стороны. Отношеніе между силами свѣта опредѣляется тогда на основаніи закона разстоянія. (Силы свѣта сравниваемыхъ источниковъ будутъ прямо пропорціональны квадратамъ разстояній этихъ источниковъ отъ экрана).

322. Фотометръ Луммера и Бродгуна.

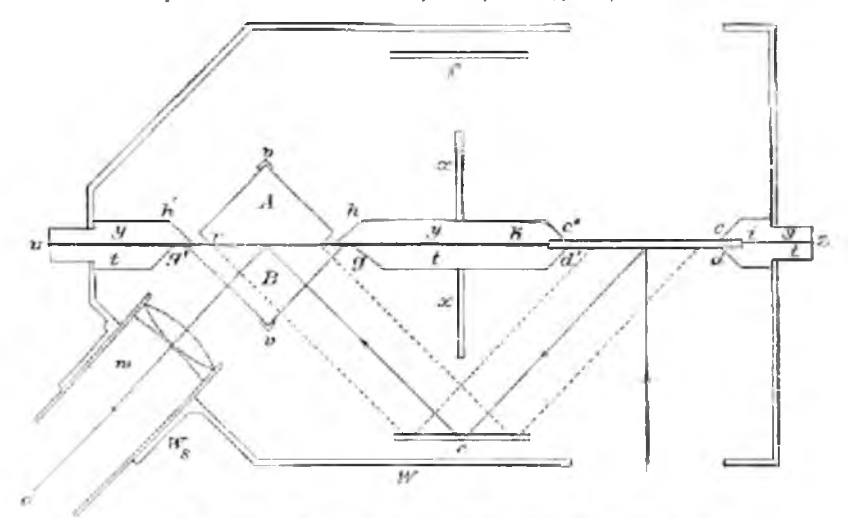
Иногда наблюденія помощью фотометра Бунзена производятся не по способу равенства освѣщенія, а по способу контраста. Въ послѣднемъ случаѣ экранъ помѣщается между двумя наклонными зеркалами, при помощи которыхъ можно видѣть заразъ обѣ стороны экрана. Экранъ съ зеркалами передвигается между сравниваемыми источниками до тѣхъ поръ, пока оба изображенія масляного пятна не покажутся одинаково свѣтлыми или темными относительно окружающаго ихъ поля экрана. Отношеніе между силами свѣта найдется тогда изъ одного этого наблюденія на основаніи закона разстояній.

Рис. 319 изображаетъ фотометръ Бунзена на фотометрической скамейкѣ Крюса. Электрическая калильная лампочка вмѣстѣ съ выпуклымъ стекломъ l составляетъ постоянный вспомогательный источникъ свѣта; свѣча L — это или опредѣляемый источникъ свѣта или сравниваемый съ другимъ источникомъ. Экранъ снабженъ двумя подвижными зеркалами, которыя могутъ быть установлены подъ любымъ угломъ. Всѣ части сдѣланы подъемными и могутъ легко быть передвигаемы вдоль фотометрической скамейки, на одномъ краю которой имѣется масштабъ для измѣренія разстояній.

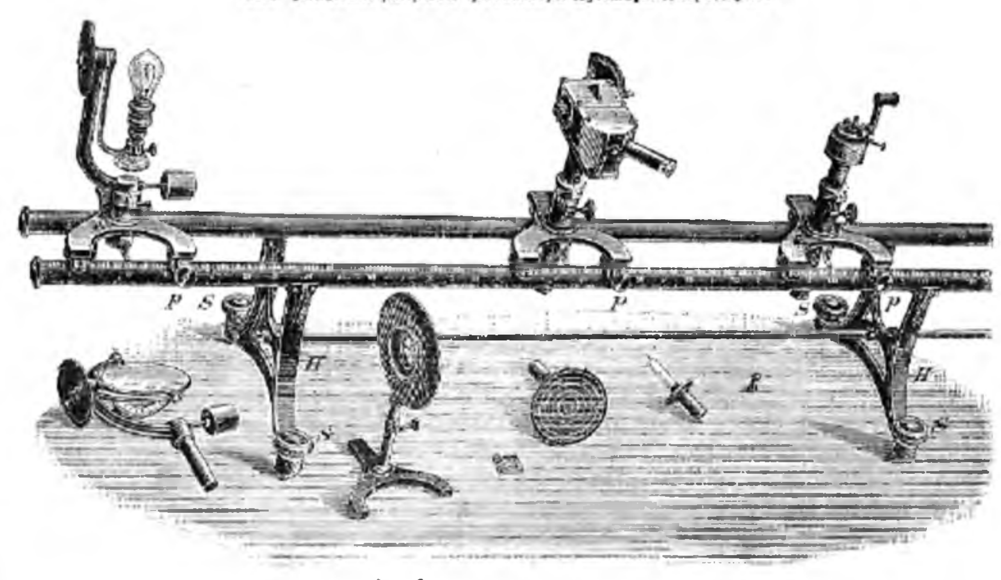
Фотометръ Луммера и Бродгуна. Нѣкоторый недостатокъ бунзеновскаго фотометра состоитъ въ томъ, что масляное пятно въ немъ не только пропускаетъ свѣтъ, но и отражаетъ, и что бумага не только отра-

жаетъ, но частью и пропускаетъ свѣтъ. Этого недостатка нѣтъ въ фотометрѣ Луммера и Бродгуна.

Главнѣйшая составная часть этого фотометра есть стеклянный кубъ, состоящій изъ двухъ прямоугольныхъ призмъ. Обѣ призмы (рис. 320) A и B склеены между собою въ rs посредствомъ особаго вещества, обладающаго такимъ же показате-



323. Главный разрѣзъ фотометра Луммера и Бродгуна.



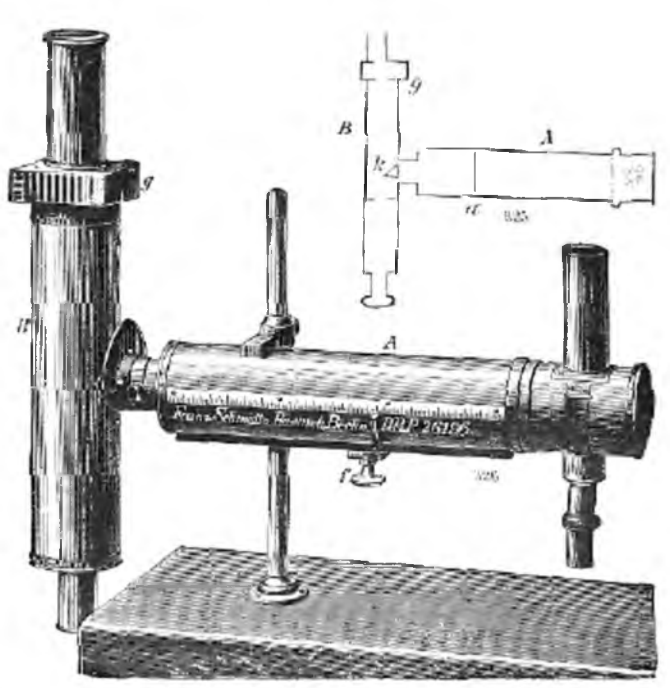
324. Фотометрическая скамья.

лемъ преломленія, какъ и стекло, тогда какъ остальныя части гипотенузныхъ площадокъ ar и sb разъединены слоемъ воздуха, ll и $\lambda\lambda$ — двѣ площадки, освѣщенныя диффузнымъ свѣтомъ. Въ такомъ случаѣ исходящій изъ $\lambda\lambda$ свѣтъ отразится отъ ar и sb къ O, тогда какъ черезъ rs онъ пройдетъ сквозь призму A. Обратное произойдетъ съ свѣтомъ, исходящимъ изъ ll по отношенію къ O. Поэтому глазъ изъ O увидитъ въ rs свѣтъ изъ ll, а въ ar и sb свѣтъ изъ $\lambda\lambda$; при извѣстныхъ условіяхъ вся площадка $arsb$ можетъ казаться равномѣрно освѣщенною.

На самомъ дѣлѣ вмѣсто склейки устраиваютъ призму A такъ, чтобы она касалась призмы B въ rs своею плоскою частью, а внѣ этой части она отшлифо-

вана шарообразно, такъ что внѣ rs между призмами A и B находится слой воздуха (рис. 321).

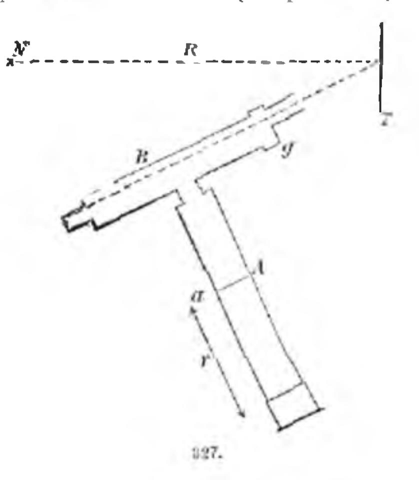
Устройство фотометра Луммера и Бродгуна показано на рис. 321. Перпендикулярно къ длинѣ фотометрической скамейки поставленъ непрозрачный экранъ ik, который освѣщается съ обѣихъ сторонъ сравниваемыми свѣтовыми источниками n и m. Диффузный свѣтъ, испускаемый сторонами λ и l экрана, попадаетъ на зеркала e и f, которыя отражаютъ лучи на грани bc и dp призмъ B и A. Наблюдатель смотритъ изъ O посредствомъ лупы w въ перпендикулярномъ направленіи на ac. Обѣ поверхности λ и l одинаково освѣщены, когда поле зрѣнія кажется равномѣрно освѣщеннымъ, когда исчезаетъ рѣзко ограниченное эллиптическое пятно rs. Экранъ ik, состоящій изъ гипсовой пластинки, зеркала e и f, стеклянный кубъ AB и окулярная трубка ow помѣщаются въ металлической коробкѣ, укрѣпленной надлежащимъ образомъ на салазкахъ фотометрической скамейки (см. рис. 324).



325 и 326. Фотометръ Л. Вебера.

Рис. 322 представляетъ перспективное изображеніе фотометра, устроеннаго фирмой Franz Schmidt und Haensch въ Берлинѣ, тогда какъ на рис. 323 изображено главное сѣченіе, т.-е плоскость, проходящая черезъ середины зеркалъ e и f, соприкасающейся площадки rs, экрана ik к т. д.

На рис. 324 изображена фотометрическая скамья въ томъ видѣ, какъ она изготовляется фирмою Hartmann und Braun. На чугунныхъ ножкахъ HH расположены стальныя трубки AA и BB свыше 2 м. длиною. Вдоль трубокъ могутъ перемѣщаться салазки, поддерживающія различныя части фотометра. На каждой салазкѣ имѣется указатель для опредѣленія положенія ея на миллиметровой шкалѣ, нанесенной на одной изъ трубокъ.



327.

Фотометръ Л. Вебера (рис. 325 и 326). На трубкѣ A, внутри зачерненной, имѣются сбоку миллиметровыя дѣленія. Справа въ ней помѣщается бензиновая лампочка, освѣщающая пластинку a изъ молочнаго стекла, которую можно передвигать помощью зубчатки f. Разстояніе этой пластинки отъ бензиновой

лампы измѣряется помощью указателя и упомянутой шкалы на трубкѣ. Къ трубѣ *A* присоединена перпендикулярно труба *B*, которую можно поворачивать около оси *A* и устанавливать въ любомъ направленіи. Въ срединѣ трубы *B* находится отражательная призма *K*, которая направляетъ къ окуляру *O* падающій на нее свѣтъ бензиновой лампочки. На другомъ концѣ *B* имѣется жестяная коробка *g* для вкладыванія пластинокъ молочнаго стекла, которыя освѣщаются испытуемыми свѣтовыми источниками. Поле зрѣнія трубы *B* раздѣляется на двѣ части, изъ которыхъ правая получаетъ свѣтъ только изъ *A*, а лѣвая только изъ *g*. Помощью фотометра Вебера могутъ быть сравниваемы между собою какъ силы свѣтовыхъ источниковъ, такъ и яркости освѣщенныхъ поверхностей. При сравненіи двухъ источниковъ свѣта, ими попеременно освѣщается пластинка *b g* (или въ случаѣ надобности нѣсколько пластинокъ, коэффиціенты поглощенія которыхъ заранѣе опредѣлены) и каждый разъ пластинка *a* передвигается такъ, чтобы все поле зрѣнія освѣщено было равномѣрно. Степень освѣщенія поверхности можетъ быть выражена числомъ свѣтовыхъ единицъ (напр. свѣчей), которыя должны быть поставлены на разстояніи 1 м. передъ нею, чтобы достигнуть даннаго освѣщенія. Для этой цѣли (рис. 327) ставится матовая дощечка *T*, на которую направляется труба *B*, причемъ пластинки изъ *g* берутся прочь, и передвиженіемъ пластинки *a* уравнивается освѣщеніе обѣихъ половинъ поля зрѣнія.

Въ заключеніе приводимъ соотношенія между наиболѣе употребительными нормальными свѣтовыми источниками:

$$\frac{\text{Нѣмецкая параффиновая свѣча}}{\text{Лампа съ уксусно-кислымъ амиломъ}} = 1{,}224;$$

$$\frac{\text{Англійская нормальная свѣча}}{\text{Лампа съ уксусно-кислымъ амиломъ}} = 1{,}151.$$

Зеркала и зеркальные приборы.

Зеркало, какъ пособникъ культуры. Античныя зеркала. Законы отраженія. Изображеніе. Привидѣнія на сценѣ. Угловыя зеркала. Калейдоскопъ. Дебускопъ. Зеркальный секстантъ. Отражательный гоніометръ. Геліостатъ и геліотропъ. Зеркальный способъ Гаусса и Поггендорфа для измѣненія малыхъ угловъ. Отраженіе кривыхъ поверхностей. Выпуклыя и вогнутыя зеркала. Фокусъ и фокусное разстояніе. Дѣйствительныя и мнимыя изображенія.

Почти всякій освѣщенный предметъ можетъ быть разсматриваемъ въ сущности какъ зеркало, отражающее въ нашъ глазъ часть падающихъ на него свѣтовыхъ лучей. Какъ печаленъ казался бы міръ, если бы свѣтовыя волны вполнѣ поглощались всякимъ тѣломъ, а не отбрасывались бы имъ. Всюду была бы полная темнота, и глазъ видѣлъ бы свѣтъ только при непосредственномъ паденіи на него лучей отъ солнца, звѣздъ и другихъ источниковъ свѣта, какъ молніи, полярнаго сіянія, пламени и т. д. Чѣмъ меньше неровностей находится на поверхности, тѣмъ совершеннѣе она отражаетъ свѣтъ.

З е р к а л о — орудіе всеобщаго значенія. Зеркала, въ различныхъ ихъ видахъ, распространены по всему земному шару, даже между наименѣе культурными народами. Блестящія бусы и маленькія ручныя зеркальца составляютъ два самыхъ дѣйствительныхъ культурныхъ средства по отношенію къ дикимъ народамъ. Что не могло быть сдѣлано помощью золота и всяческихъ искусствъ, то было достигнуто, съ цѣлью удовлетворенія возрастающихъ потребностей, посредствомъ этихъ бездѣлушекъ, льстящихъ тщеславію, — именно, сближеніе, довѣріе, обмѣнъ и наконецъ привычка къ труду. Съ другой стороны мы и въ древнихъ гробницахъ грековъ, столь высоко стоявшихъ въ культурномъ отношеніи, находимъ зеркала, которыя клались въ гробъ умершей женщины, какъ символъ красоты.

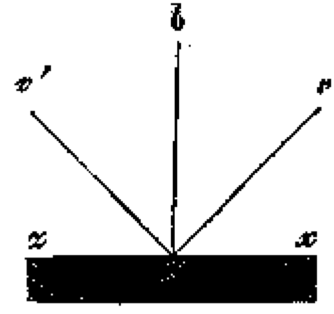
Зеркала древнихъ народовъ дѣлались преимущественно изъ м е т а л л а, хотя попадались также и с т е к л я н н ы я; первыя изготовлялись въ особенности въ Бриндизи, а вторыя на знаменитыхъ стеклянныхъ заводахъ въ

Сидонѣ. Металлическія зеркала обыкновенно приготовлялись изъ сплава мѣди и цинка; Плиній упоминаетъ также и о серебряныхъ зеркалахъ, которыя, какъ полагаютъ, изготовлялись уже Праксителемъ въ серединѣ четвертаго столѣтія до Р. Х. У богатыхъ римлянъ имѣлись даже и золотыя зеркала. У Нерона было смарагдовое зеркало, которое вѣроятно было отшлифовано подобно нашему очковому стеклу, такъ какъ онъ пользовался имъ для обозрѣванія арены боя гладіаторовъ. Зеркала дѣлались между прочимъ изъ горнаго хрусталя, обсидіана и другихъ камней.

Античныя зеркала были вообще небольшія, круглыя или овальныя, съ ручкой; но, по Квинтилію нѣкоторыя женщины обладали и большими зеркалами (Specula totis paria corporibus), въ которыхъ онѣ могли видѣть всю свою фигуру, а богатыя изъ нихъ имѣли особыхъ рабовъ, которые должны были держать такія зеркала, когда въ томъ встрѣчалась надобность. Въ древности примѣняли даже выпуклыя и вогнутыя зеркала.

Мы разсмотримъ сперва вкратцѣ законы отраженія свѣта отъ плоскихъ зеркалъ и различные наиболѣе важные и интересные случаи примѣненія такихъ зеркалъ.

Отраженіе свѣта. Каждое тѣло отражаетъ свѣтъ, одно больше, другое меньше; меньше же всего газы, которые поэтому при обыкновенныхъ условіяхъ остаются для насъ часто невидимыми. Возьмемъ гладко полированную плоскую поверхность металла (рис. 328), **плоское зеркало**, и направимъ на нее свѣтовой лучъ *v*. Уголъ, составленный падающимъ лучомъ съ перпендикуляромъ *cb* къ зеркалу, называется **угломъ паденія**, а плоскость, заключающая *v* и *bc*, есть **плоскость паденія**. Свѣтовой лучъ отражается такимъ образомъ, что онъ остается въ плоскости паденія и составляетъ съ зеркаломъ такой же уголъ, какъ и падающій лучъ; слѣдовательно уголъ паденія *vcb* равенъ углу отраженія *bcv'*. Если закрыть окно въ комнатѣ, оставивъ въ немъ только небольшое отверстіе, черезъ которое проникаетъ тонкій пучокъ солнечныхъ лучей, то въ правильности изложенныхъ законовъ можно наглядно убѣдиться, помѣстивъ на пути лучей зеркало.



328. Отраженіе свѣта.

Когда въ глазъ попадаютъ отраженные отъ зеркала лучи, то онъ видитъ изображеніе предмета, отъ котораго лучи попадаютъ на зеркало. Изображеніе это не мѣняетъ своего мѣста при измѣненіи положенія глаза. Мѣсто изображенія вполнѣ опредѣленное и легко можетъ быть найдено на опытѣ. Для этого нужно найти только направленія отраженныхъ лучей для различныхъ положеній глаза; всѣ эти лучи будутъ казаться исходящими изъ одной точки, находящейся за зеркаломъ на продолженіи перпендикуляра, опущеннаго на него изъ свѣтящейся точки; притомъ эта исходная точка удалена отъ поверхности зеркала ровно настолько же, насколько и свѣтящаяся точка. Рис. 329, дающій намъ изображеніе предмета (свѣчи) въ зеркалѣ, указываетъ на взаимную ихъ симметричность (правая сторона становится лѣвой въ зеркальномъ изображеніи); это обстоятельство приходится принимать во вниманіе между прочимъ рѣзчикамъ на деревѣ, литографамъ и т. п.

Наши зеркала приготовляются обыкновенно изъ стекла, задняя поверхность котораго покрывается или металлическимъ слоемъ (серебрянымъ) или амальгамой. Искусствомъ выливать изъ стекла большія доски мы обязаны Абраму Теварту (Abraham Thevart) въ 1688 г. во Франціи. Р. Луллусъ (Raimundus Lullus) еще въ концѣ XIV столѣтія описалъ способъ приготовленія зеркала накладываніемъ на заднюю поверхность стекла свинцоваго листа.

Привидѣнія на сценѣ. Хотя непрозрачныя тѣла лучше отражаютъ свѣтъ, но въ иныхъ случаяхъ требуется именно прозрачность отражатель-

ныхъ поверхностей. Такой случай представлялся уже намъ, напримѣръ, въ *аппаратѣ Физо для измѣренія скорости свѣта. Другой случай представляетъ* между прочимъ театральная сцена, когда требуется появленіе на ней духа или привидѣнія.

По всей вѣроятности подобныя зеркальныя приспособленія примѣнялись уже и древними волшебниками при вызываніи ими духовъ. Но въ большихъ размѣрахъ и публично эта идея впервые осуществлена была не такъ давно англійскимъ физикомъ Пепперомъ (Pepper), который каждый вечеръ въ теченіе нѣкотораго времени показывалъ различные свѣтовые эффекты помощью изобрѣтенныхъ имъ зеркальныхъ приспособленій въ лондонскомъ политехникумѣ; отсюда затѣмъ привилегированныя изобрѣтенія его проникли *и въ театръ.*


320. Зеркальное изображеніе.

Переносемся теперь мысленно въ зрительную залу большого театра. Дается піеса, особенный интересъ въ которой заключается въ появленіи духа. Сейчасъ должна наступить катастрофа. Огни постепенно потухаютъ, и въ залѣ и на сценѣ становится темнѣе; всякій чувствуетъ, что наступаетъ моментъ, когда должно произойти что-то необычайное. Вдругъ въ одномъ мѣстѣ сцены появляется какое-то сіяніе, оно становится все явственнѣе и опредѣленнѣе, начинаютъ обрисовываться постепенно контуры — и передъ героемъ трагедіи выступаетъ тѣнь давно умершаго; тѣнь эта говоритъ, движется и никакіе предметы не останавливаютъ ея движенія, она проникаетъ сквозь кусты и деревья, не задѣвъ ни одного листика; пытающаяся задержать ее рука хватаетъ пустое пространство, мечъ свободно пронзаетъ ее, не встрѣчая сопротивленія. Наконецъ она пропадаетъ такъ же быстро и таинственно, какъ и появилась.

Если бы вы, заинтересовавшись этимъ явленіемъ, спросили о немъ актера, исполнявшаго роль героя трагедіи, то онъ вамъ отвѣтилъ бы, что самъ онъ ничего не видѣлъ. Это навѣрное васъ еще болѣе удивило бы. Обмануты были, слѣдовательно, только одни зрители. Но какъ?

Въ театрѣ кромѣ обыкновенной сцены имѣется еще другая, скрытая, лежащая ниже первой. На ней именно и помѣщается актеръ, изображающій привидѣніе. Существенное же приспособленіе при этомъ составляетъ большая хорошо полированная стеклянная доска, слегка наклоненная къ зрительной залѣ и поставленная такъ, чтобы скрытая сцена приходилась между ней и зрителями. Такъ какъ стекло это вполнѣ прозрачно и сквозь него совершенно отчетливо видны и актеры и декораціи, то для зрителей оно совсѣмъ незамѣтно. Актеръ, изображающій привидѣніе, помѣщается на нижней сценѣ, стѣны которой обиты чернымъ бархатомъ. При сильномъ освѣщеніи стѣны, къ которой прислоняется актеръ, получается изображеніе въ стеклѣ, какъ въ зеркалѣ. Зрителямъ это изображеніе покажется въ глубинѣ главной сцены.

Калейдоскопъ. Мы знаемъ, что помѣстившись между двумя зеркалами, наклоненными другъ къ другу подъ нѣкоторымъ угломъ, мы увидимъ

въ каждомъ изъ нихъ и переднюю и заднюю стороны нашего тѣла, притомъ подрядъ нѣсколько изображеній, въ большемъ или меньшемъ числѣ, смотря по величинѣ угла наклона. На этомъ основаніи устроиваются очень интересные и полезные аппараты, въ которыхъ изображенія въ наклонныхъ зеркалахъ составляютъ правильныя симметрическія фигуры. Очень красивые звѣздообразные рисунки можно получить при помощи двухъ зеркалъ, уголъ между которыми надлежащимъ образомъ подобранъ такъ, чтобы онъ укладывался въ окружности цѣлое число разъ. Смотря по тому, составляетъ ли этотъ уголъ 1/4, 1/5, 1/6 и т. д. часть окружности, изображенія предметовъ, помѣщенныхъ между зеркалами, располагаются звѣздообразно въ четыре, пять, шесть и болѣе лучей. Комокъ цвѣтныхъ нитокъ, бусы, осколки стекла, лепестки цвѣтка и т. п. предметы образуютъ своими изображеніями прекрасныя правильныя фигуры. Приборы, такимъ образомъ устроенные, носятъ названія **калейдоскопа** и **дебускопа**. Этотъ послѣдній приборъ, пущенный въ ходъ въ послѣдніе годы, въ сущности ничѣмъ не отличается отъ перваго, давно уже извѣстнаго. **Калейдоскопъ** (рис. 330 и 331) впервые устроенъ въ 1817 году Брюстеромъ; въ немъ примѣняются или два или три зеркала, составляющія между собою углы въ 60°. Положенные между ними мелкіе цвѣтные предметы даютъ правильную шестиугольную фигуру (рис. 331), мѣняющую свой видъ при вращеніи или при встряхиваніи прибора. Подобные приборы впрочемъ извѣстны уже были за нѣсколько столѣтій тому назадъ. Порта и патеръ Кирхеръ (1646 г.) упоминаютъ о томъ, что такіе приборы быстро распространились по всему свѣту изъ Парижа, гдѣ они были одно время модными игрушками и изготовлялись ежедневно въ количествѣ 60 000 штукъ.



330. Калейдоскопъ.

Наклонныя зеркала употребляютъ между прочимъ въ окнахъ магазиновъ съ цѣлью декоративной группировки выставленныхъ предметовъ.



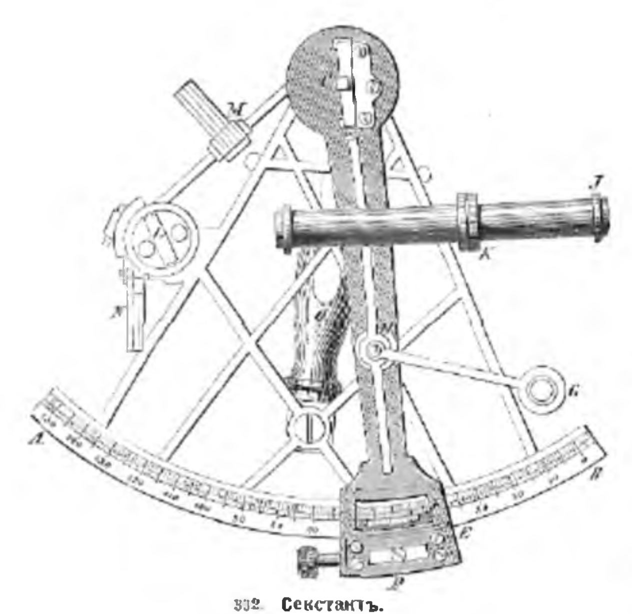
331. Изображеніе въ калейдоскопѣ.

Самое же важное примѣненіе плоскихъ зеркалъ встрѣчается въ нѣкоторыхъ научныхъ приборахъ, какъ напримѣръ въ секстантѣ, отражательномъ гоніометрѣ, геліостатѣ и геліотропѣ.

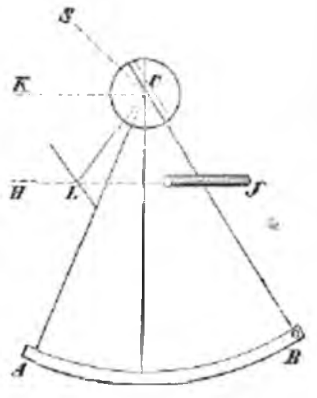
Зеркальный секстантъ служитъ для опредѣленія угла между прямыми линіями, идущими отъ наблюдателя къ двумъ отдаленнымъ точкамъ. Названіе его обусловливается тѣмъ, что въ немъ для измѣренія угловъ примѣняется только шестая часть круга. Первая идея о немъ исходитъ отъ извѣстнаго англійскаго физика **Гука**; **Ньютонъ** развилъ ее, а **Гадлей** въ 1731 г. осуществилъ ее, устроивъ первый инструментъ такого рода.

На рис. 332 AB представляетъ раздѣленную дугообразную пластинку, вдоль которой можетъ передвигаться, вращаясь около оси C, **алидада** CD.

На верхнемъ концѣ алидады прикрѣплено винтами плоское зеркало *C*, перпендикулярное къ плоскости дуги. На другомъ ея концѣ находится ноніусъ, помощью котораго отсчитываются доли дѣленій дуги. *G* маленькая лупа (увеличительное стекло) для разсматриванія мелкихъ дѣленій. *J* зрительная трубка, неподвижно прикрѣпленная къ инструменту. Передъ нею находится второе зеркало *L*, нижняя половина котораго покрыта сзади оловяннымъ листомъ, а верхняя прозрачна, такъ что въ трубу можно видѣть черезъ верхнюю часть зеркала отдаленный предметъ непосредственно и въ то же время наблюдать два раза отраженное, отъ перваго зеркала *C* и отъ нижней части второго зеркала *L*, изображеніе другого какого-нибудь далекаго предмета. Когда неподвижное зеркало *L* вполнѣ параллельно вращаемому зеркалу *C*, то нулевое дѣленіе ноніуса совпадаетъ съ нулевымъ дѣленіемъ дугового масштаба. *M* и *N* цвѣтныя стекла, служащія для ослабленія свѣта въ случаѣ наблюденія солнца. *O* — рукоятка для держанія инструмента во время опыта.



332. Секстантъ.



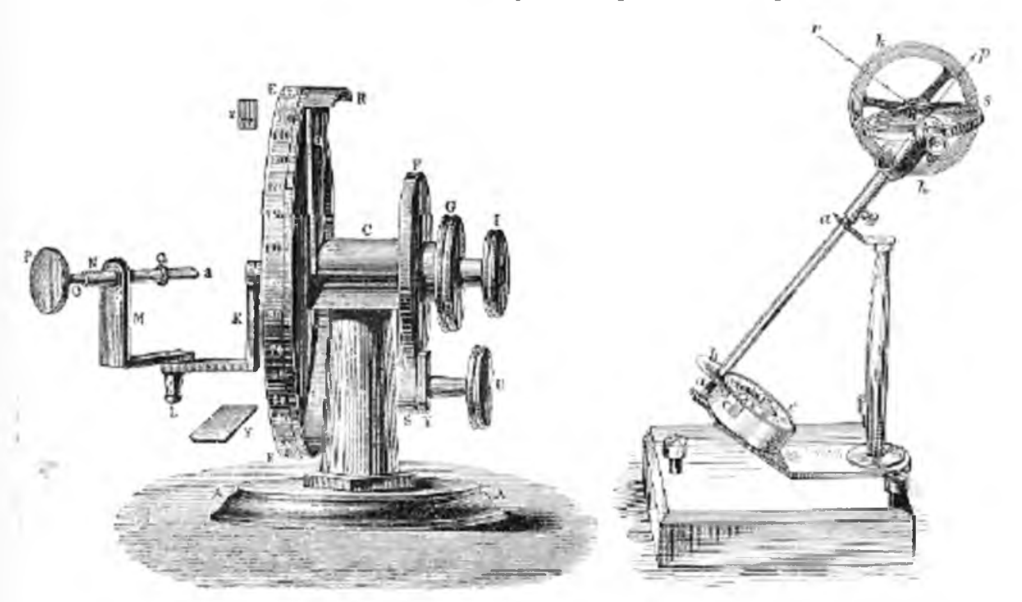
333. Схема секстанта.

На рис. 333 всѣ эти части, для ясности, изображены проще, въ схематическомъ видѣ. При параллельномъ положеніи обоихъ зеркалъ *C* и *L* лучи, отраженные отъ нихъ, попадаютъ въ трубу въ томъ же направленіи, какое они имѣли до ихъ отраженія. Въ такомъ случаѣ въ трубу *J* видѣнъ одинъ и тотъ же предметъ, какъ прямо черезъ верхнюю половину зеркала *L*, такъ и вслѣдствіе двойного отраженія отъ обоихъ зеркалъ. Поэтому совпаденіе обоихъ изображеній служитъ вѣрнымъ признакомъ параллельности зеркалъ. Въ этомъ положеніи ихъ, какъ уже упомянуто, указатель алидады *CD* приходится на нулевомъ дѣленіи дуги. Если требуется опредѣлить уголъ, подъ которымъ видны двѣ точки *K* и *S*, то трубу направляютъ прямо на точку *K* и въ то же время, передвигая алидаду *CD*, приводятъ въ совпаденіе изображеніе точки *K* съ изображеніемъ точки *S*, лучи отъ которой достигаютъ трубы послѣ двойного отраженія отъ зеркалъ *C* и *L*. Уголъ, на который приходится при этомъ повернуть алидаду *CD*, составляетъ ровно половину искомаго угла.

Секстантъ принадлежитъ къ числу необходимыхъ приборовъ, которыми пользуются мореплаватели; его главное достоинство заключается въ томъ, что для него не требуется какой-либо прочной установки, а держать его во время наблюденія просто въ рукѣ, причемъ измѣренія съ достаточною точ-

ностью могутъ производиться даже на слегка качающемся суднѣ. Для астрономическаго опредѣленія мѣста, именно для опредѣленія широты даннаго мѣста, необходимо знать высоту солнца, т.-е. тотъ уголъ, подъ которымъ видно солнце надъ горизонтомъ въ моментъ прохожденія солнца черезъ меридіанъ даннаго мѣста. Всякій приборъ, требующій прочной установки для этой цѣли, на кораблѣ очевидно былъ бы непригоденъ. Секстантъ же, какъ мы видѣли, выполняетъ эту цѣль и безъ указаннаго условія, почему его можно найти на всякомъ кораблѣ.

Отражательный гоніометръ, изобрѣтенный Вульстеномъ (Wollaston), служитъ для измѣренія угловъ между гранями кристалловъ. Для этой цѣли пользуются въ немъ отраженіемъ лучей отъ поверхностей кристалловъ. Устройство его очень простое. Испытуемый кристаллъ закрѣпляютъ на оси

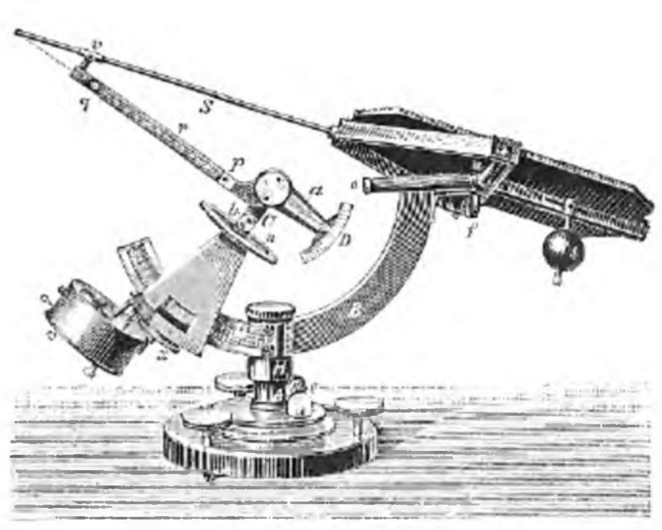


334. Гоніометръ. — 335. Геліостатъ Мейерштейна.

раздѣленнаго вертикальнаго круга такимъ образомъ, чтобы ребро, образуемое двумя гранями, пришлось какъ разъ въ направленіи этой оси. Послѣ того въ одной изъ граней наблюдаютъ изображеніе какой-нибудь отдаленной горизонтальной линіи, напримѣръ края крыши, и приводятъ въ совпаденіе это изображеніе съ надлежащимъ образомъ расположенной другой горизонтальной линіей, видимой непосредственно; соотвѣтствующее положеніе кристалла опредѣляется при этомъ посредствомъ указателя на кругѣ съ дѣленіями. Затѣмъ кругъ вмѣстѣ съ кристалломъ поворачиваютъ такъ, чтобы мѣсто первой грани заняла вторая грань, и производятъ новый отсчетъ на кругѣ. Разность полученныхъ двухъ отсчетовъ и дастъ намъ дополненіе искомаго угла междр гранями до 180°.

Рис. 334 представляетъ простой отражательный гоніометръ Вульстена. *PQa* изображаетъ выдвижной и вращаемый около *L* стерженекъ для закрѣпленія кристалла; *E* вертикальный кругъ съ дѣленіями, который можно поворачивать помощью кружка *G* около горизонтальной оси вмѣстѣ съ кристалломъ, причемъ уголъ поворота отсчитывается посредствомъ неподвижнаго указателя *R*; *x* представляетъ горизонтальный значекъ, а *y* зеркальце, изображеніе *x* въ которомъ можетъ служить той постоянной линіей, съ которой приводится въ совпаденіе изображенія въ граняхъ кристалла.

Во многихъ оптическихъ изслѣдованіяхъ необходимо бываетъ направлять солнечные лучи въ теченіе нѣкотораго промежутка на одинъ и тотъ же предметъ. Для этой цѣли служитъ **геліостатъ**. Его устройство вообще довольно сложно, вслѣдствіе того, что солнце не остается на мѣстѣ, почему и отражающее его лучи зеркало должно слѣдовать за его движеніемъ. Существенную часть этого прибора составляетъ поэтому не зеркало, а часовой механизмъ, поворачивающій зеркало. На рис. 335 показанъ одинъ изъ простѣйшихъ приборовъ такого рода, **геліостатъ Мейерштейна** (въ 1/8 его величины). Приборъ долженъ быть такъ установленъ, чтобы его ось *aa* была параллельна оси міра, т.-е. направлена на полярную звѣзду. На нижнемъ концѣ оси находится зубчатое колесо *b*, которое дѣлаетъ одинъ оборотъ въ 24 часа при посредствѣ часового механизма. На верхнемъ концѣ оси *aa* находится трубка съ зажимнымъ винтомъ, поддерживающая зеркало *ss*, которое можетъ быть повернуто около его горизонтальной оси и закрѣплено въ любомъ положеніи. Зеркало надо такъ установить, чтобы падающій лучъ *ro* отражался по *op*, т.-е. по направленію оси *aa*. Для этого плоскость зеркала помощью раздѣленнаго круга *kk* должна быть наклонена относительно оси міра на уголъ, равный $90^0 - \frac{1}{2}\varphi$, гдѣ φ географическая широта мѣста наблюденія. Въ такомъ случаѣ отраженный лучъ будетъ поворачиваться часовымъ механизмомъ около оси *aa*, параллельной оси міра, съ такою же угловой скоростью, съ какою и солнце видимымъ образомъ оборачивается вокругъ оси міра, т.-е. будетъ всегда сохранять одно и то же направленіе. Помощью второго зеркала лучамъ можно дать и другое, желаемое постоянное направленіе. **Гамбей** и **Зильберманъ**, а въ новѣйшее время Фюсъ, усовершенствовали устройство геліостатовъ съ часовыми механизмами и съ однимъ зеркаломъ. Рис. 336 даетъ понятіе о маломъ геліостатѣ Фюса.



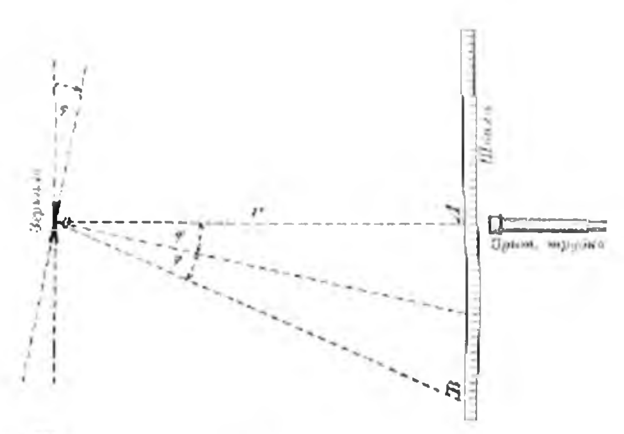
336. Геліостатъ Фюса.

Ось прибора (*A*) устанавливается вертикально помощью уровня и трехъ винтовъ подставки. На раздѣленной на градусы дугѣ *D'* находятся салазки съ часовою осью. Къ салазкамъ прикрѣпленъ снизу часовой механизмъ. Зубчатое колесо *a* сообщаетъ часовую ось съ механизмомъ *e*. Съ верхнимъ концомъ часовой оси помощью винта *b* соединена дуга *D*. Выступъ *C* скрѣпленъ съ стержнемъ *r*, снабженнымъ діоптрами *p* и *q*. Другой такой же стержень, по другую сторону выступа *C*, оканчивается указателемъ, позволяющимъ устанавливать дугу *D* соотвѣтственно углу склоненія солнца. Дуга *B* поддерживаетъ ось *O* зеркала.

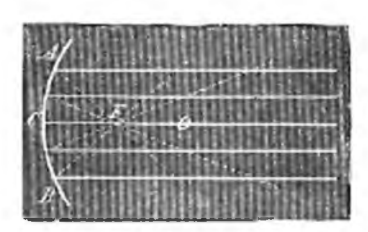
Геліотропомъ называется зеркальный приборъ, посредствомъ котораго можно отражать солнечный свѣтъ на очень отдаленные предметы. Такъ какъ зеркальная поверхность въ одинъ квадратный дюймъ, освѣщенная солнцемъ, можетъ быть наблюдаема въ зрительную трубу на разстояніи болѣе

семи миль, то подобные свѣтовые сигналы могутъ съ пользою примѣняться при топографическихъ измѣреніяхъ. Необходимо для этого только помощью особаго приспособленія направлять отраженные отъ зеркала лучи въ направленіи оси зрительной трубы, находящейся на другой станціи. Въ геліотропѣ, изобрѣтенномъ Гауссомъ, достигается это весьма остроумно придуманнымъ способомъ. Приборъ такого рода, предложенный Штейнгейлемъ въ Мюнхенѣ, отличается простотою устройства.

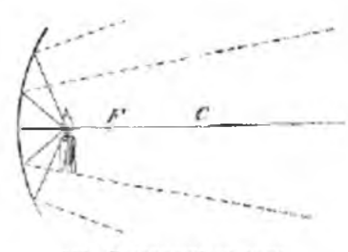
Другое еще важное примѣненіе плоскихъ зеркалъ, въ особенности въ магнитныхъ и электрическихъ измѣрительныхъ приборахъ, встрѣчается въ зеркальномъ способѣ Гаусса и Поггендорфа для измѣренія помощью зрительной трубы и шкалы малыхъ угловъ вращенія. Предположимъ, что на тонкой нити подвѣшанъ магнитъ, причемъ къ нимъ прикрѣплено плоское зеркальцо такимъ образомъ, чтобы плоскость его была вертикальна, а средина его приходилась бы на оси вращенія магнита. Въ перпендикулярномъ къ зеркалу направленіи на нѣкоторомъ опредѣленномъ разстояніи пусть находится хорошо освѣщенная миллиметровая шкала (рис. 337); надъ нею или подъ нею установлена зрительная трубка съ перекрестными нитями такъ, что въ полѣ зрѣнія ея видно отраженное зеркальцемъ изображеніе части шкалы, причемъ на пересѣченіи нитей ея пусть находится сперва среднее дѣленіе A шкалы. Если вслѣдствіе какой-либо причины, напримѣръ отклоняющимъ дѣйствіемъ



337. Зеркальный способъ Гаусса и Поггендорфа для измѣренія угловъ.



338. Параллельные лучи въ вогнутомъ зеркалѣ.



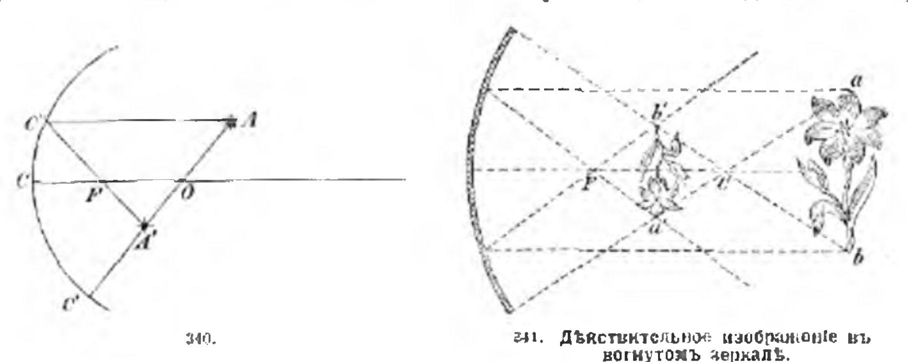
339. Расходящіеся лучи.

другого магнита или гальваническаго тока, данный магнитъ повернется на малый уголъ φ, то въ трубу на пересѣченіи нитей будетъ видно уже другое дѣленіе шкалы, напримѣръ B. Зная разстояніе BA, а также разстояніе шкалы отъ зеркала (r), можно вычислить искомый уголъ поворота φ.

Сферическія зеркала. Когда свѣтовой лучъ падаетъ на кривую зеркальную поверхность, то онъ отражается отъ нея по тѣмъ же законамъ, какъ и отъ плоскаго зеркала. Уголъ паденія равняется углу отраженія. Чтобы подтвердить истинность законовъ въ такомъ случаѣ, достаточно вообразить себѣ касательную плоскость къ зеркальной поверхности въ точкѣ встрѣчи съ нею луча. Кривыя зеркальныя поверхности могутъ быть **вогнутыя и выпуклыя.** Часовое стекло съ внѣшней стороны представляетъ

примѣръ поверхности второго рода, а съ внутренней — перваго рода. Въ зависимости отъ вида зеркальной поверхности, будетъ ли она цилиндрическая, шаровая, эллипсоидальная, параболическая и т. д., изображенія въ ней будутъ получаться самыя разнообразныя, несмотря на простоту основныхъ законовъ.

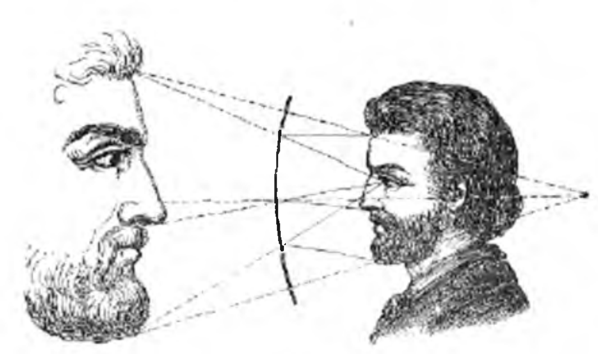
Въ вогнутыхъ сферическихъ зеркалахъ при извѣстныхъ условіяхъ всѣ отраженные лучи соединяются въ одну точку F, называемую фокусомъ. Когда источникъ свѣта настолько удаленъ, что падающіе на зер-



340.

341. Дѣйствительное изображеніе въ вогнутомъ зеркалѣ.

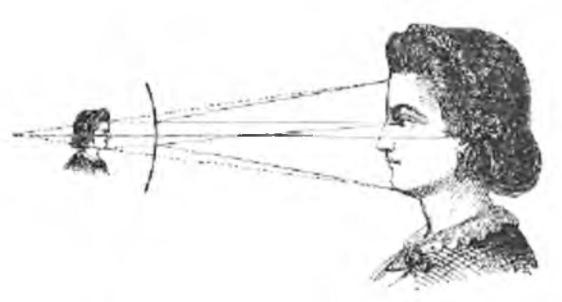
кало его лучи можно считать параллельными другъ другу, то послѣ отраженія ихъ точка соединенія ихъ, называемая въ этомъ случаѣ главнымъ фокусомъ, лежитъ на серединѣ радіуса OC (рис. 338). FC называется при этомъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ. Когда свѣтовой источникъ приблизить къ зеркалу, такъ что лучи отъ него не будутъ уже между собою параллельны, то фокусъ отодвинется дальше отъ зеркала; фокусъ совпадаетъ съ центромъ, когда и свѣтящаяся точка будетъ въ немъ же. Если свѣтящаяся точка еще болѣе приблизится къ зеркалу, то фокусъ еще дальше отойдетъ отъ него. Лучи отразятся отъ зеркала параллельнымъ пучкомъ въ случаѣ помѣщенія свѣтящейся точки въ главномъ фокусѣ. Наконецъ они отражаются отъ него расходящимся пучкомъ, когда источникъ свѣта будетъ находиться между фокусомъ и зеркаломъ (рис. 339).



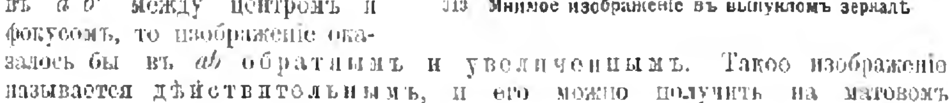
242. Мнимое изображеніе въ вогнутомъ зеркалѣ.

Построеніе изображеній въ вогнутомъ сферическомъ зеркалѣ производится слѣдующимъ простымъ способомъ. Пусть A (рис. 340) свѣтящаяся точка, изображеніе которой требуется найти. Изъ всѣхъ лучей, падающихъ изъ A на зеркало, выберемъ два особенныхъ, именно центральный лучъ AOC' и лучъ AC'', параллельный оси OC зеркала; первый изъ нихъ, падающій нормально (перпендикулярно) на зеркало, отразится отъ него въ томъ же направленіи назадъ; другой же послѣ отраженія пройдетъ черезъ главный фокусъ. Та точка, въ которой пересѣкаются оба отраженныхъ луча $C'O$ и $C''F$, именно A', и есть изображеніе точки A. Умѣя находить изображеніе отдѣльныхъ точекъ, мы въ состояніи построить изобра-

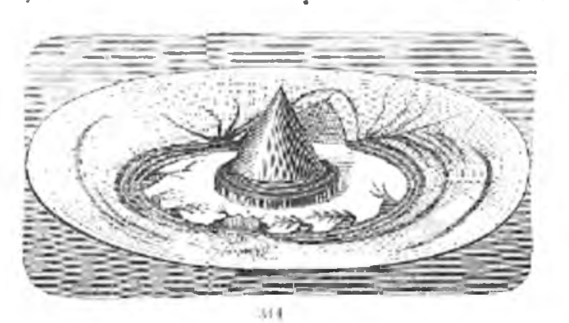
женіе и какого-либо предмета въ вогнутомъ зеркалѣ. Если предметъ находится за центромъ, какъ напримѣръ *ab* на рис. 341, то по указанному построенію мы получимъ въ *a'* изображеніе точки *a*, а *b'* изображеніе *b*. Поступая такимъ же образомъ и относительно другихъ точекъ, мы получимъ обратное и уменьшенное изображеніе даннаго предмета. Изображеніе и самый предметъ могутъ обмѣняться мѣстами. Если бы, именно, предметъ находился въ *a'b'* между центромъ и фокусомъ, то изображеніе ока-



343 Мнимое изображеніе въ выпукломъ зеркалѣ

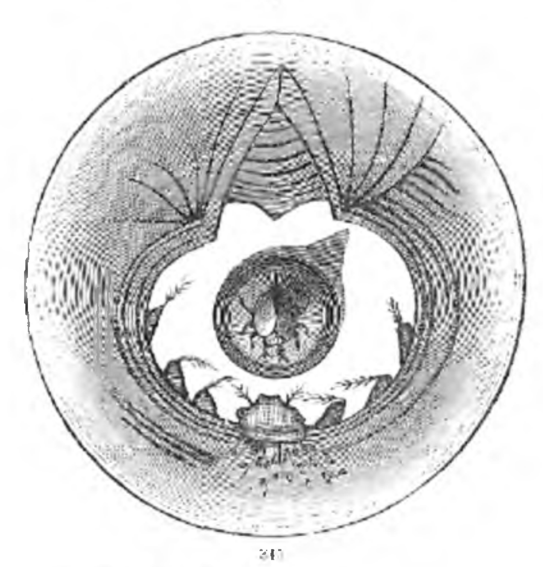


залось бы въ *ab* обратнымъ и увеличеннымъ. Такое изображеніе называется дѣйствительнымъ, и его можно получить на матовомъ стеклѣ; напротивъ мнимое изображеніе въ дѣйствительности не существуетъ, оно только воспроизводится нашимъ глазомъ, когда на него падаетъ расходящійся пучокъ лучей, въ случаѣ помѣщенія предмета между фокусомъ и зеркаломъ. Ходъ лучей въ этомъ послѣднемъ случаѣ указанъ на рис. 342. Мнимое изображеніе кажется намъ за зеркаломъ, притомъ прямымъ и увеличеннымъ.



344

Выпуклыя зеркала не даютъ дѣйствительныхъ изображеній; отъ нихъ лучи отражаются расходящимся пучкомъ. Мнимыя же изображенія кажутся въ нихъ прямыми и уменьшенными, болѣе или менѣе, въ зависимости отъ кривизны зеркала (рис. 343). Кромѣ сферическихъ зеркалъ примѣняются еще только для цѣлей освѣщенія зеркала эллиптическія и параболическія. Другой же формы кривыя зеркала, какъ коническія или цилиндрическія, употребляются вообще рѣдко. На рис. 344 и 345 показано изображеніе, получающееся въ коническомъ зеркалѣ; неправильный рисунокъ на бумагѣ образуетъ въ зеркалѣ правильную фигуру. О примѣненіяхъ сферическихъ зеркалъ въ телескопахъ и въ другихъ аппаратахъ будетъ изложено въ своемъ мѣстѣ.



345

344 и 345. Изображеніе въ коническомъ зеркалѣ.

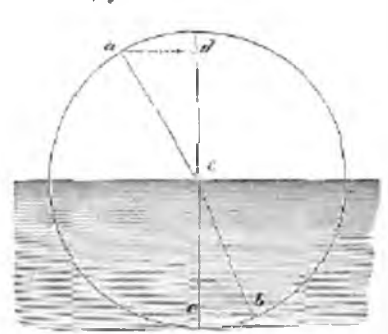
Свѣторазсѣяніе въ призмѣ и спектральный анализъ.

Миѳъ. Преломленіе свѣта въ водѣ и въ воздухѣ. Fata morgana. Призма. Полное внутреннее отраженіе. Camera lucida. Рефрактометръ Аббе. Солнечный спектръ. Разложеніе бѣлаго свѣта на цвѣтные лучи. Тонъ и цвѣтъ. Ученія о цвѣтахъ Ньютона и Гете. Флюоресценція. Фраунгоферовы линіи. Спектры различныхъ свѣтовыхъ источниковъ. Спектры непрерывные и спектры газовъ и паровъ. Исторія спектральнаго анализа. Кирхгофъ и Бунзенъ. Спектральные аппараты. Спектры диффракціонной рѣшетки. Новооткрытые металлы. Примѣненіе спектральнаго анализа къ астрономіи. Изъ чего состоитъ солнце? Солнечные выступы (протуберанцы). Техническія и медицинскія примѣненія спектральнаго анализа.

Въ одной индійской сказкѣ говорится, что семь молодыхъ дѣвушекъ собрались праздновать приходъ бога свѣта Кришна. Когда онъ явился и просилъ ихъ протанцовать передъ нимъ, то онѣ печально отвѣтили, что имъ недостаетъ танцоровъ. Тогда богъ раздѣлился на семь частей, такъ что каждая танцовщица получила своего Кришну.

Этотъ миѳъ имѣетъ поразительное сходство со сказаніемъ, дошедшимъ до насъ отъ Пиндара. Когда боги раздѣлили между собою землю, то забыли выдѣлить часть ея богу солнца; на его долю пришелся только одинъ островъ, выдвинувшійся вдругъ изъ моря; это былъ островъ Родосъ, названный такъ по имени возлюбленной бога солнца, отъ которой онъ имѣлъ семерыхъ удивительно одаренныхъ сыновей; островъ этотъ такъ и остался затѣмъ посвященнымъ культу божественнаго огня. На древнихъ картинахъ Аполлонъ изображается въ діадемѣ съ семью свѣтлыми точками, а у Юліана богъ солнца называется „семилучистый богъ“.


346. Преломленіе свѣта въ водѣ.



347. Преломленіе луча.

Эти поэтическія сказанія давно прошедшихъ временъ находятъ отголосокъ и въ современныхъ теоріяхъ естествознанія. Въ упомянутыхъ миѳахъ, съ ихъ семью дѣвушками, осчастливленными богомъ Кришна, съ семью сыновьями родосской нимфы, мы имѣемъ какъ бы намекъ на семь цвѣтовъ радуги, и вмѣстѣ съ тѣмъ зачатокъ ученія о цвѣтахъ, поставленнаго открытіями Ньютона на научное основаніе.

Преломленіе свѣта. Прекрасная игра цвѣтовъ въ алмазѣ, фата моргана, увеличительная способность выпуклыхъ стеколъ, „выстроенный изъ перлъ мостъ“ радуги, все это результатъ преломленія свѣта, когда свѣтовые лучи мѣняютъ свое направленіе при прохожденіи ихъ изъ одной оптической середины въ другую. Мы можемъ вызвать такое явленіе посредствомъ самаго простого опыта. Для этого положимъ на дно пустой чашки монету и отдалимся настолько, чтобы монета, прикрываемая краемъ чашки, не была намъ видна. Если послѣ этого налить въ чашку воды, то монета съ того же разстоянія будетъ намъ видна (рис. 346). Монета покажется

намъ слѣдовательно въ другомъ направленіи, чѣмъ она находится въ дѣйствительности. Вслѣдствіе той же причины нельзя черезъ воду попасть въ рыбу выстрѣломъ изъ ружья. Причина этихъ явленій заключается въ томъ, что свѣтовой лучъ при выходѣ его изъ воды въ воздухъ, или вообще изъ оптически болѣе плотной середины въ менѣе плотную, отклоняется дальше отъ перпендикуляра; наоборотъ при переходѣ луча изъ воздуха въ воду (рис. 347) лучъ приближается къ нормали или перпендикуляру, возстановленному въ точкѣ перехода. Уголъ *acd* называется при этомъ угломъ паденія, а уголъ *bce* — угломъ преломленія.

Съ измѣненіемъ угла паденія мѣняется также и уголъ преломленія вполнѣ опредѣленнымъ образомъ: именно отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія остается постояннымъ; отношеніе это называется коэффиціентомъ или показателемъ преломленія $\left(\frac{\sin acd}{\sin bce} = \frac{ad}{be} = \text{пост.}\right)$. Этотъ законъ открытъ въ 1620 г. Снелліусомъ, но обнародованъ впервые только въ 1637 г. Декартомъ. Показатель преломленія больше единицы, когда лучъ идетъ изъ оптически менѣе плотной середины въ болѣе плотную, и меньше единицы въ обратномъ случаѣ. Для воздуха и воды показатель преломленія равняется $^4/_3$ или $^3/_4$, смотря по тому, идетъ ли лучъ изъ первой середины во вторую или обратно. Вообще свѣтовой лучъ приближается къ перпендикуляру, когда онъ переходитъ изъ середины менѣе плотной въ середину болѣе плотную. Есть впрочемъ и исключенія. Бензолъ напр. преломляетъ свѣтъ сильнѣе, чѣмъ обыкновенное стекло, несмотря на то, что плотность его меньше. Поэтому намъ и приходилось въ предыдущихъ строкахъ употреблять выраженіе „оптически болѣе или менѣе плотный“.


348. Призма.

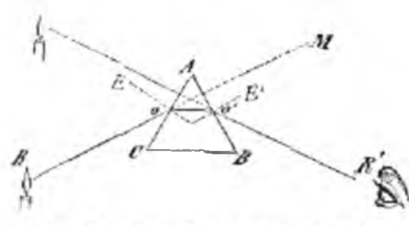
Фата моргана представляетъ случай преломленія свѣта въ одной и той же средѣ. Вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣванія солнцемъ почвы, различные прилегающіе къ ней слои воздуха могутъ обладать различными преломляющими способностями. Поэтому, совершенно какъ въ приведенномъ опытѣ монета становилась видимою, когда въ чашку наливалась вода, и лежащій за горизонтомъ ландшафтъ можетъ стать видимымъ при надлежащихъ условіяхъ преломляемости различныхъ воздушныхъ слоевъ. Чередованіе различной плотности слоевъ атмосферы можетъ вызвать и вслѣдствіе отраженія изображенія, прямыя и обратныя, различныхъ предметовъ.

Лучи, идущіе изъ міроваго пространства, отъ звѣздъ, испытываютъ также отклоненіе въ своемъ первоначальномъ направленіи при входѣ въ земную атмосферу: только звѣзды, находящіяся прямо надъ нами, въ зенитѣ, кажутся намъ въ ихъ дѣйствительномъ положеніи; другія же звѣзды кажутся намъ всегда выше надъ горизонтомъ и притомъ тѣмъ выше, чѣмъ ближе онѣ находятся къ горизонту. Явленіе это называется въ астрономіи **атмосферной рефракціей**.

Призма — „это тотъ замѣчательный приборъ, который, какъ говоритъ Гёте, такъ высоко цѣнится на востокѣ, что китайскій императоръ признаетъ своимъ исключительнымъ правомъ обладать имъ; приборъ этотъ своими удивительными свойствами поражаетъ насъ въ самой ранней юности и продолжаетъ восхищать насъ до глубокой старости“. Этотъ простой и распро-

страненный теперь приборъ, послужившій созданію теоріи цвѣта, представляетъ не что иное, какъ стеклянный, хорошо отшлифованный трехгранный столбикъ (рис. 348). Призму приготовляютъ не только изъ стекла, но и изъ другихъ прозрачныхъ тѣлъ; устроиваютъ даже жидкія и газообразныя призмы, заключая эти тѣла въ призматическіе сосуды.

Разсмотримъ теперь, какъ преломляется свѣтовой лучъ въ призмѣ? Это объяснитъ намъ рис. 349, въ которомъ треугольникъ ABC представляетъ поперечное сѣченіе равносторонней трехгранной призмы. Уголъ CAB называется *преломляющимъ угломъ призмы*, а грань BC *основаніемъ призмы*. При входѣ изъ воздуха въ болѣе плотную середину (стекло) лучъ Ro приближается къ перпендикуляру oE, а при выходѣ его изъ грани AB онъ удаляется отъ перпендикуляра $o'E'$. При прохожденіи черезъ призму слѣдовательно лучъ мѣняетъ свое первоначальное направленіе, отклоняясь къ основанію призмы. Поэтому, если мы будемъ держать призму въ указанномъ положеніи передъ глазомъ, то находящійся за нею предметъ намъ покажется не въ дѣйствительномъ его положеніи, а отклоненнымъ кверху (рис. 349 и 350).



349. Преломленіе свѣта въ призмѣ.

Величина отклоненія зависитъ отъ величины преломляющаго угла, отъ показателя преломленія вещества призмы и отъ угла паденія.

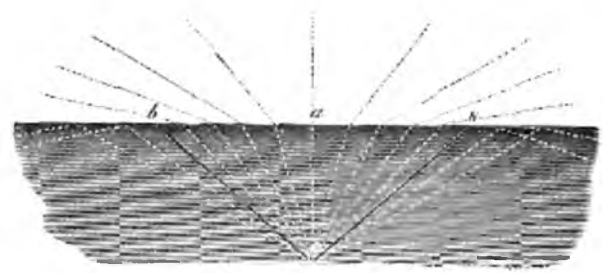
При нѣкоторомъ опредѣленномъ положеніи призмы относительно луча получается наименьшее отклоненіе. Это происходитъ тогда, когда падающій лучъ Ro составляетъ съ гранью AC такой же уголъ, какой образуетъ выходящій лучъ $o'R'$ съ гранью AB (рис. 349).

350. Отклоненіе изображенія призмою.

Полное внутреннее отраженіе. При нѣкоторыхъ условіяхъ лучъ не можетъ выйти изъ болѣе преломляющей середины въ менѣе преломляющую. Тамъ именно, гдѣ лучи встрѣчаютъ поверхность раздѣла (рис. 351) подъ такимъ угломъ acb, что по выходѣ они скользятъ по этой поверхности, явленіе преломленія переходитъ уже въ явленіе отраженія. Всѣ лучи, которые встрѣчаютъ поверхность раздѣла еще подъ болѣе острыми углами, уже не могутъ совсѣмъ проникнуть въ воздухъ, а отражаются отъ нея вполнѣ, въ большей степени, чѣмъ отъ обыкновенныхъ металлическихъ зеркалъ, которыми нѣкоторая часть лучей поглощается. На нашемъ рис. 351 лучи, исходящіе изъ свѣтящейся точки c въ болѣе плотной серединѣ, будутъ или преломляться или вполнѣ отражаться, смотря по тому, находятся ли они внутри или внѣ конуса bcb'.

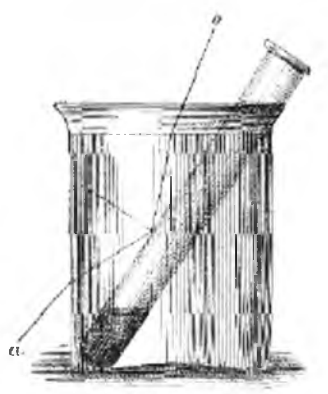
Такъ какъ свѣтовые лучи, при переходѣ изъ менѣе плотной середины въ болѣе плотную, приближаются къ перпендикуляру, то они всегда могутъ проникнуть во вторую середину; полное внутреннее отраженіе можетъ произойти только въ случаѣ направленія луча изъ болѣе плотной въ менѣе плотную середину.

Предѣльный уголъ, при которомъ наступаетъ полное внутреннее отраженіе, для различныхъ тѣлъ имѣетъ различныя величины; такъ, для перехода изъ воды въ воздухъ онъ равняется $48^1/_2{}^0$, изъ стекла въ воздухъ — отъ 40 до 37 градусовъ, смотря по сорту стекла, изъ алмаза въ воздухъ — около 24°.



351. Полное внутреннее отраженіе.

Прекрасный и вмѣстѣ съ тѣмъ простой примѣръ полнаго внутренняго отраженія представляетъ пустая стеклянная трубка, погруженная въ наклонномъ положеніи въ стаканъ съ водою (рис. 352). Если смотрѣть на нее сверху, изъ точки *o* напримѣръ, то она будетъ казаться ярко блестящею, съ металлическимъ блескомъ, такъ какъ идущіе изъ *a* свѣтовые лучи встрѣчаютъ трубку подъ такимъ угломъ, что ни одинъ изъ нихъ не можетъ проникнуть изъ воды въ воздухъ, заключенный въ трубкѣ, а будетъ вполнѣ отражаться вверхъ. Если же въ трубку налить воды, то блескъ исчезнетъ, такъ какъ лучи въ этомъ случаѣ не будутъ уже отражаться, а пройдутъ черезъ воду въ трубкѣ.



352. Примѣръ полнаго отраженія.

Интересное примѣненіе полнаго внутренняго отраженія мы находимъ въ камерѣ люцидѣ (camera lucida). Приборъ состоитъ изъ маленькой трех- или четырехгранной призмы *abcd* (рис. 353), съ прямымъ угломъ въ *a* и съ тупымъ угломъ въ 135° въ *c*. Лучи, входящіе въ призму перпендикулярно грани *ab*, отражаются сперва отъ грани *bc*, а затѣмъ отъ *cd*, и выходятъ черезъ грань *ad*. Если наблюдатель помѣститъ глазъ такъ, чтобы въ него попадали выходящіе лучи, то онъ увидитъ изображеніе предметовъ, находящихся передъ приборомъ. И если размѣры призмы настолько малы, что въ глазъ будутъ попадать также лучи отъ лежащей на столѣ бѣлой бумаги, то проектирующееся на бумагу изображеніе легко можетъ быть обрисовано карандашемъ. Камера люцида или камера клара (clara) изобрѣтена англійскимъ физикомъ Вульстеномъ (Wollaston).

Рефрактометръ Аббе. Впервые Вульстенъ воспользовался полнымъ внутреннимъ отраженіемъ для опредѣленія показателей преломленія жидкостей. На этомъ явленіи основано нѣсколько рефрактометровъ очень простыхъ и удобныхъ. На рис. 354 и 355 представленъ рефрактометръ Аббе, весьма часто примѣняющійся въ послѣднее время какъ въ наукѣ, такъ и въ практикѣ. Все измѣреніе ограничивается наблюденіемъ полнаго внутренняго отраженія въ тонкомъ слоѣ испытуемой жидкости, заключающейся между призмами, сдѣланными изъ болѣе преломляющаго вещества. Поэтому для испытанія достаточно всего нѣсколькихъ капель данной жидкости, которая

въ толстомъ слоѣ можетъ быть и непрозрачною. Съ алидадой прибора соединена двойная призма P изъ сильно преломляющаго флинтгласа. Секторъ же съ дѣленіями скрѣпленъ съ зрительною трубою F. Чтобы произвести измѣреніе, приборъ сперва перекладывается, осторожно вынимается одна призма, вводится капля испытуемой жидкости, и призма снова ставится на мѣсто; такимъ образомъ образуется тонкій слой T жидкости между двумя призмами. Зеркаломъ S лучи направляются на двойную призму. Если лучи упадутъ на жидкій слой подъ надлежащимъ угломъ, бо́льшимъ предѣльнаго угла, то они вполнѣ отразятся, и въ случаѣ примѣненія натріеваго (желтаго) свѣта поле зрѣнія трубы покажется раздѣленнымъ на двѣ части, темную и свѣтлую. На границу ихъ устанавливаются перекрестныя нити трубы. Показатель преломленія жидкости прямо отсчитывается съ точностью до третьей и даже четвертой десятичной по дѣленіямъ сектора, соотвѣтствующимъ указателю алидады. Въ случаѣ примѣненія бѣлаго свѣта пользуются особыми призмами *(Амичи)*, наставляемыми на объективъ и служащими для обезцвѣчиванія пограничной линіи поля зрѣнія. Поворачиваніе этихъ призмъ производится помощью барабана T' съ дѣленіями, посредствомъ которыхъ по приложенной таблицѣ опредѣляется свѣторазсѣяніе данной жидкости. Такой рефрактометръ примѣнимъ для показателей преломленія между 1,3 и 1,7.



853. Camera lucida.



854. Рефрактометръ Аббе.

855. Устройство его.

Спектръ. Вернемся снова къ призмѣ. Если черезъ нее пропустить пучокъ солнечныхъ лучей, выходящихъ напр. изъ круглаго отверстія или изъ щели, то мы замѣтимъ, что по выходѣ изъ призмы такой лучокъ не только отклоняется къ ея основанію, но и растягивается, представляя при этомъ на экранѣ длинную разноцвѣтную полосу (рис. 356). Такое изображеніе называется въ физикѣ **спектромъ**. Расположеніе цвѣтовъ въ немъ такое же, какъ въ радугѣ; именно цвѣта красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый. На рис. 356 красная часть спектра, наименѣе преломляемая, обозначена буквою *R*, а другая крайняя часть его, фіолетовая, обозначена черезъ *V*. Разложеніе свѣта на его составныя части называется **свѣторазсѣяніемъ** или **дисперсіей**. Величина свѣторазсѣянія зависитъ отъ вещества призмы; она больше въ тяжеломъ стеклѣ (флинтгласѣ), нежели въ легкомъ (кронгласѣ).

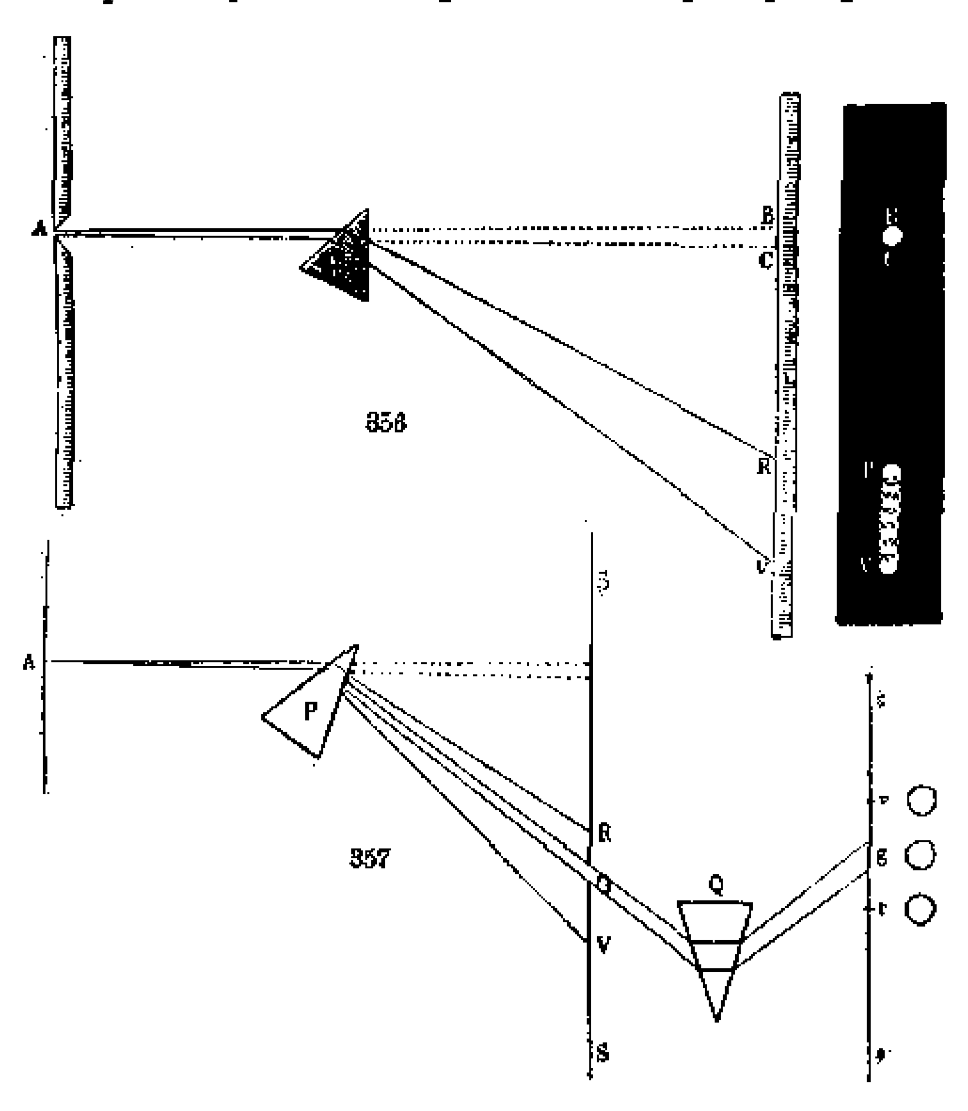
Вульстенъ впервые въ 1802 г. изучалъ спектры указаннымъ способомъ, пропуская свѣтъ черезъ узкую щель. Первый же, кто вообще воспроизвелъ солнечный спектръ, посредствомъ круглаго отверстія, въ темной комнатѣ и указалъ на истинное значеніе этого удивительнаго явленія, былъ **Ньютонъ**.

Явленіе свѣторазсѣянія указываетъ намъ на то, что обыкновенный бѣлый свѣтъ состоитъ изъ волнъ различныхъ длинъ, которыя призмою не одинаково преломляются и которыя каждая отдѣльно производитъ на глазъ впечатлѣніе того или другого цвѣта. **Однороднымъ свѣтомъ** называется тотъ, который призмою не разлагается на составныя части и который слѣдовательно даетъ спектръ, состоящій изъ полосы одного цвѣта.

Для провѣрки заключенія о сложности бѣлаго свѣта требовалось сдѣлать и обратный опытъ. Если мы можемъ бѣлый свѣтъ разложить на его составныя части, то изъ соединенія вновь этихъ составныхъ частей мы должны получить бѣлый свѣтъ. Это оказалось возможнымъ и на самомъ дѣлѣ. Этотъ обратный опытъ былъ произведенъ самимъ же Ньютономъ. Если именно разсѣянные первою призмою лучи пропустить черезъ вторую такую же призму, но повернутую въ положеніе, обратное первой, то вторая призма снова возсоединитъ разсѣянные лучи и получится на экранѣ бѣлое изображеніе щели, черезъ которую былъ пропущенъ пучокъ лучей на первую призму. Можно смѣшать такимъ образомъ и не всѣ цвѣта спектра, а только нѣкоторые; но только въ такомъ случаѣ получится уже, разумѣется, не бѣлая, а цвѣтная полоса на экранѣ. Если задержать напр. красные лучи, то смѣшеніе остальныхъ лучей дастъ зеленый свѣтъ; если въ пучкѣ лучей не будетъ доставать голубыхъ лучей, то получится оранжевый свѣтъ. Слѣдовательно красный цвѣтъ дополняетъ зеленый до бѣлаго такъ же, какъ взаимно дополнительными цвѣтами служатъ голубой и оранжевый и такимъ же образомъ фіолетовый и желтый. Каждый призматическій цвѣтъ, слѣдовательно, обладаетъ соотвѣтствующимъ дополнительнымъ ему цвѣтомъ, въ соединеніи съ которымъ онъ даетъ бѣлый цвѣтъ. Два такихъ соотвѣтствующихъ другъ другу цвѣта называются **дополнительными цвѣтами**. Гельмгольцъ показалъ, что оптическая комбинація двухъ цвѣтныхъ оттѣнковъ вообще значительно отличается отъ цвѣта, получаемаго смѣшеніемъ соотвѣтствующихъ красящихъ веществъ (пигментовъ). Смѣшеніе хроможелтой краски съ ультрамариномъ даетъ напр. зеленую краску. Если же, напротивъ, наклеить на дискъ секторы изъ хроможелтой и ультрамариново-голубой бумаги, причемъ ширина желтыхъ секторовъ составляла бы $^2/_8$ голубыхъ, то при быстромъ вращеніи дискъ покажется свѣтло-сѣрымъ. Получился бы совершенно бѣлый цвѣтъ, если бы вмѣсто пигментовъ были бы взяты соотвѣтствующіе призматическіе спектральные цвѣта. Все изложенное здѣсь о спектрѣ составляетъ сущность **Ньютоновой теоріи цвѣтовъ**.

Цвѣта, т.-е. призматически разложенныя составныя части бѣлаго свѣта, представляютъ поэтому не что иное, какъ различныя впечатлѣнія въ нашихъ зрительныхъ нервахъ, вызванныя лучами различной преломляемости, подобно тому, какъ тоны обусловливаются различными впечатлѣніями органа слуха, возбуждаемаго періодическою послѣдовательностью воздушныхъ колебаній различной продолжительности или частоты.

Неодинаковая преломляемость свѣтовыхъ лучей есть слѣдствіе *неодинаковыхъ періодовъ ихъ колебаній, и цвѣтные лучи находятся между собою* въ такихъ же отношеніяхъ высоты, какъ и тоны въ музыкѣ; разница заключается только въ томъ, что свѣтовыя колебанія совершаются несравненно быстрѣе звуковыхъ, причемъ они распространяются съ громадной скоростью въ чрезвычайно тонкой средѣ — эеирѣ. Если ухо наше отличаетъ какъ тонъ послѣдовательность волнъ съ 33 колебаніями въ секунду, то глазъ начинаетъ воспринимать, какъ свѣтовыя впечатлѣнія, только такія колебанія, число которыхъ въ секунду не менѣе 450 билліоновъ. Самый низкій *тонъ для уха это contra-C*, для глаза же самый низкій свѣтовой тонъ — это темно-красный цвѣтъ спектра. Самый высокій музыкальный тонъ, который ухо еще въ состояніи слышать, соотвѣтствуетъ примѣрно 32 000 колебаніямъ; мы можемъ ухомъ такимъ образомъ различать болѣе, чѣмъ девять октавъ. Глазъ же не обладаетъ такою способностью, онъ менѣе чувствителенъ въ этомъ отношеніи, такъ какъ уже свыше 800 билліоновъ колебаній въ секунду, ограничиваясь крайнимъ фіолетовымъ спектральнымъ цвѣтомъ, онъ перестаетъ воспринимать ихъ какъ свѣтъ. Глазъ слѣдовательно не въ состояніи воспринять даже и одной октавы (которая получилась бы только при 900 билліонахъ колебаній). За этими, доступными глазу предѣлами эеирныя колебанія могутъ быть обнаружены посредствомъ ихъ тепловыхъ и химическихъ дѣйствій. (Какъ извѣстно, великій поэтъ Гёте создалъ также теорію цвѣтовъ. Теорія эта не имѣетъ прочнаго научнаго основанія, и мы здѣсь о ней распространяться поэтому не будемъ. Поводомъ упоминанія о ней служитъ только громкое имя великаго поэта).



356 и 357. Опытъ Ньютона съ солнечнымъ спектромъ.

Кромѣ видимыхъ цвѣтныхъ лучей спектра въ солнечномъ свѣтѣ, какъ объ этомъ уже упоминалось, находятся также лучи, которые не производятъ впечатлѣнія на глазъ. Они преломляются въ призмѣ совершенно такимъ же образомъ, какъ и другіе; но соотвѣтствующія имъ эеирныя волны, преломляемость которыхъ лежитъ за предѣломъ фіолетовыхъ лучей спектра, не дѣйствуютъ на глазные нервы, подобно тому, какъ слишкомъ высокіе тоны перестаютъ дѣйствовать на ухо. Между тѣмъ имѣются извѣстныя химическія

соединенія, какъ напр. хлористое, бромистое и іодистое серебро, которыя подъ дѣйствіемъ этихъ лучей распадаются на составныя свои части; иногда такіе лучи называютъ поэтому химическими. На химическихъ дѣйствіяхъ свѣтовыхъ лучей основана фотографія. Способность проявлять химическія дѣйствія принадлежитъ однако не исключительно только ультрафіолетовымъ лучамъ, а вообще всякаго рода свѣтовымъ лучамъ. Дэви и позднѣе Ньепсъ впервые показали способъ закрѣплять изображенія, полученныя на хлористомъ серебрѣ подъ вліяніемъ свѣта; систематическимъ усовершенствованіемъ этого способа наука обязана Дагерру. Когда Беккерель въ 1842 г. получилъ изображеніе солнечнаго спектра на „дагерротипной“ пластинкѣ, то при этомъ обнаружили свое дѣйствіе и ультрафіолетовые лучи на протяженіи, значительно превосходящемъ видимую часть спектра; оказалось кромѣ того, что эти невидимые при обыкновенныхъ условіяхъ лучи производятъ наиболѣе сильныя химическія дѣйствія. Существованіе ультрафіолетовыхъ лучей можетъ быть доказано не только посредствомъ фотографированія солнечнаго спектра, но еще удобнѣе помощью флюоресценціи. Этимъ названіемъ обозначается замѣчательное свойство нѣкоторыхъ тѣлъ измѣнять цвѣтъ падающихъ на нихъ свѣтовыхъ лучей,



355. Іосифъ фонъ Фрауэнгоферъ.

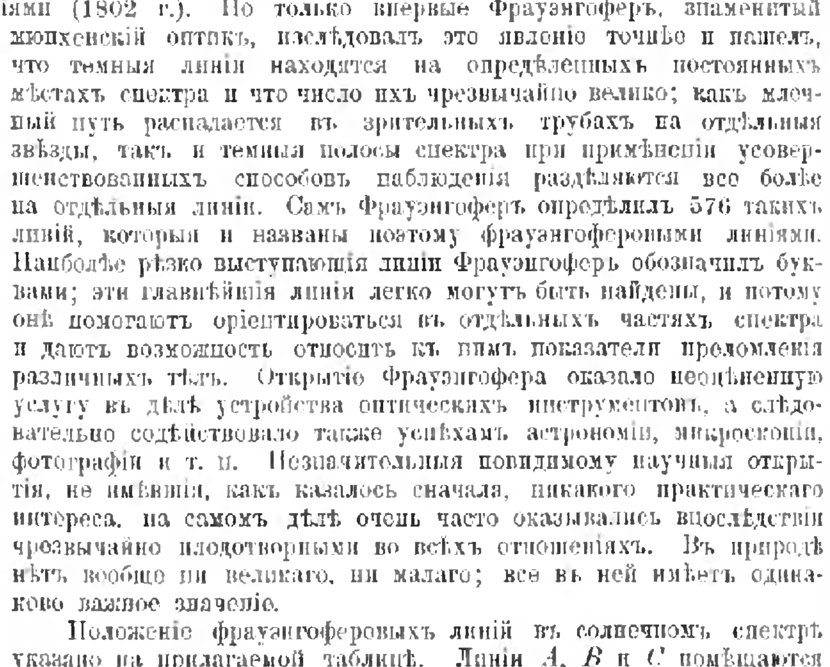
т.-е. испускать лучи другого цвѣта, чѣмъ тѣ, которые на нихъ падаютъ. Такія флюоресцирующія вещества можно получить напр. кипяченіемъ настойки каштановой коры въ водѣ, раствореніемъ хлорофила въ эфирѣ, спиртовой вытяжкой изъ сѣмянъ дурмана; кромѣ того урановое стекло и растворъ сѣрнокислаго хинина принадлежатъ къ прекраснымъ флюоресцирующимъ тѣламъ. Въ проходящемъ свѣтѣ растворъ хинина кажется совершенно безцвѣтнымъ, между тѣмъ какъ, освѣщенный солнечными лучами, онъ обнаруживаетъ синеватую окраску, если смотрѣть на него сверху. Распространенное примѣненіе находитъ въ послѣднее время флюоресцирующее вещество, ціанистое соединеніе платины и барія, которымъ пользуются для обнаруженія такъ называемыхъ рентгеновыхъ Х-лучей, о которыхъ дальше придется

говорить подробно. Если на бумажный экранъ, обработанный такимъ веществомъ, направить призматическій солнечный спектръ, то зеленый флюоресцирующій цвѣтъ на немъ обнаружитъ ультрафіолетовые лучи, причемъ пространство, ими занимаемое, будетъ превосходить раза въ три длину, соотвѣтствующую видимой части спектра.

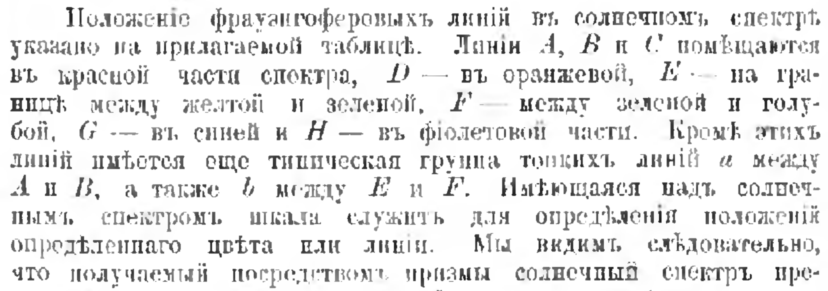
Фраунгоферовы линіи. При изслѣдованіи солнечнаго спектра уже Вульстенъ нашелъ, что онъ не представляетъ непрерывнаго перехода отъ одного цвѣта къ другому, а испещренъ многочисленными поперечными темными линіями (1802 г.). Но только впервые Фраунгоферъ, знаменитый



359. Гейслерова трубка.



мюнхенскій оптикъ, изслѣдовалъ это явленіе точнѣе и нашелъ, что темныя линіи находятся на опредѣленныхъ постоянныхъ мѣстахъ спектра и что число ихъ чрезвычайно велико; какъ млечный путь распадается въ зрительныхъ трубахъ на отдѣльныя звѣзды, такъ и темныя полосы спектра при примѣненіи усовершенствованныхъ способовъ наблюденія раздѣляются все болѣе на отдѣльныя линіи. Самъ Фраунгоферъ опредѣлилъ 576 такихъ линій, которыя и названы поэтому фраунгоферовыми линіями. Наиболѣе рѣзко выступающія линіи Фраунгоферъ обозначилъ буквами; эти главнѣйшія линіи легко могутъ быть найдены, и потому онѣ помогаютъ оріентироваться въ отдѣльныхъ частяхъ спектра и даютъ возможность относить къ нимъ показатели преломленія различныхъ тѣлъ. Открытіе Фраунгофера оказало неоцѣненную услугу въ дѣлѣ устройства оптическихъ инструментовъ, а слѣдовательно содѣйствовало также успѣхамъ астрономіи, микроскопіи, фотографіи и т. п. Незначительныя повидимому научныя открытія, не имѣвшія, какъ казалось сначала, никакого практическаго интереса, на самомъ дѣлѣ очень часто оказывались впослѣдствіи чрезвычайно плодотворными во всѣхъ отношеніяхъ. Въ природѣ нѣтъ вообще ни великаго, ни малаго; все въ ней имѣетъ одинаково важное значеніе.



Положеніе фраунгоферовыхъ линій въ солнечномъ спектрѣ указано на прилагаемой таблицѣ. Линіи A, B и C помѣщаются въ красной части спектра, D — въ оранжевой, E — на границѣ между желтой и зеленой, F — между зеленой и голубой, G — въ синей и H — въ фіолетовой части. Кромѣ этихъ линій имѣется еще типическая группа тонкихъ линій a между A и B, а также b между E и F. Имѣющаяся надъ солнечнымъ спектромъ шкала служитъ для опредѣленія положеній опредѣленнаго цвѣта или линіи. Мы видимъ слѣдовательно, что получаемый посредствомъ призмы солнечный спектръ прерывистый, что въ немъ недостаетъ лучей нѣкоторыхъ опредѣленныхъ преломляемостей.

Непрерывные спектры и спектры газовъ и паровъ. Для полученія спектра можно употребить какъ солнечный свѣтъ, такъ и всякій другой свѣтовой источникъ, если напряженность его достаточна для этого. Друммондовъ свѣтъ (раскаленная известь) и электрическій свѣтъ даютъ блестящіе спектры, которые отличаются отъ солнечнаго спектра тѣмъ, что они непрерывны, т.-е. не пересѣкаются ни темными, ни свѣтлыми линіями. Какъ въ томъ, такъ и другомъ источникахъ свѣта мы имѣемъ дѣло съ раскаленными твердыми тѣлами; въ первомъ изъ нихъ — известь, во второмъ — уголь. Какъ эти, такъ и всѣ раскаленныя твердыя тѣла даютъ непрерывные спектры, напр. раскаленная гальваническимъ токомъ платиновая проволока и т. п. Совершенно другого рода спектры получаемъ мы, если пропустимъ черезъ призму свѣтъ отъ раскаленнаго газообразнаго тѣла. Спектры паровъ

я газовъ прерывисты и состоятъ изъ отдѣльныхъ блестящихъ линій, раздѣленныхъ одна отъ другой темными промежутками.

Свѣтъ, испускаемый газообразными тѣлами, изслѣдуется при помощи особыхъ стеклянныхъ трубокъ, предложенныхъ знаменитымъ физикомъ Плюккеромъ и изготовленныхъ впервые механикомъ Гейслеромъ въ Боннѣ, и извѣстныхъ вообще подъ названіемъ **гейслеровыхъ трубокъ**. Для спектроскопическихъ изслѣдованій онѣ берутся такой формы, какая указана на рис. 359. Другой формы трубки будутъ описаны въ отдѣлѣ объ электричествѣ. Трубки эти запаиваются съ обоихъ концовъ, послѣ того, какъ онѣ были предварительно наполнены надлежащимъ газомъ, который затѣмъ доводился до извѣстной степени разрѣженія помощью ртутнаго насоса. На обоихъ концахъ трубки впаяны платиновыя проволоки, которыя присоединяются къ полюсамъ индукціоннаго аппарата, когда нужно пропускать черезъ газъ внутри трубки электрическіе разряды; въ такомъ случаѣ газъ свѣтится, притомъ особенно ярко въ средней, суженной части трубки. Этою частью трубки и пользуются для полученія спектра, который представляетъ разнообразныя особенности въ зависимости отъ рода газа и отъ давленія, подъ которымъ онъ находится въ трубкѣ. Если напр. такая гейслерова трубка наполнена водородомъ при нѣсколькихъ миллиметрахъ давленія, то узкая часть ея при прохожденіи черезъ нея электрическихъ разрядовъ высокаго напряженія испускаетъ яркій карминокрасный свѣтъ. Поставленная передъ щелью спектроскопа, такая водородная трубка даетъ, какъ это описалъ впервые Плюккеръ, спектръ изъ трехъ особенно выдѣляющихся линій, изъ которыхъ первая H_α — красная, совпадаетъ съ фраунгоферовою линіей C, вторая H_β — синезеленая, совпадаетъ съ F, тогда какъ третья H_γ — синяя лежитъ около G; позднѣе въ водородномъ спектрѣ была открыта Энгстрёмомъ еще четвертая линія H_δ — фіолетовая, совпадающая съ линіей h. Промежутки между этими линіями однако не совсѣмъ темны, въ нихъ замѣчаются слѣды непрерывнаго спектра, которые при большей плотности газа выступаютъ еще рѣзче.



360. Г. Р. Кирхгофъ.

Каждый газъ такимъ же образомъ даетъ свой особенный спектръ. Рѣзкость спектральныхъ линій зависитъ отъ упругости газа такъ же, какъ и отъ яркости его свѣченія. При разрѣженіи до нѣкотораго предѣла яркость сперва увеличивается, но затѣмъ при дальнѣйшемъ уменьшеніи упругости к

яркость уменьшается. Замѣчательно при подобныхъ свѣтовыхъ явленіяхъ появленіе слоистости, состоящей изъ болѣе темныхъ и свѣтлыхъ частей или слоевъ, число которыхъ уменьшается съ пониженіемъ давленія.

Свѣтлыя характеристическія линіи имѣются только въ спектрѣ газообразныхъ тѣлъ. Поэтому при спектральныхъ изслѣдованіяхъ испытуемыя тѣла, въ видѣ солей и ихъ растворовъ, вводятся въ пламя, которое превращаетъ ихъ въ парообразное состояніе. Въ иныхъ случаяхъ для этой цѣли оказывается достаточнымъ пламя спиртовой лампы, въ которое вводятъ на платиновой, загнутой петлей, проволокѣ напр. крупинки поваренной соли. Въ другихъ же случаяхъ помѣщаютъ испытуемыя тѣла между оконечностями углей электрической дуговой лампы.



361. Р. В. Бунзенъ.

Самый простой спектръ имѣетъ натрій Na (см. таблицу), металлъ, заключающійся въ обыкновенной поваренной соли (хлористый натрій), и который легко можетъ быть превращенъ въ паръ, какъ самъ по себѣ, такъ и въ своихъ соединеніяхъ. Спектръ паровъ натрія состоитъ изъ одной только желтой линіи, совпадающей по мѣсту съ фраунгоферовой линіей D солнечнаго спектра. Литію соотвѣтствуютъ двѣ линіи, оранжевая и красная, цезію — цѣлая група линій въ оранжевой, желтой и зеленой частей спектра, а также еще двѣ типичныя синія линіи. Рубидій обнаруживаетъ пять паръ линій въ красной, оранжевой, желтой, зеленой и фіолетовой частяхъ спектра; у таллія всего одна зеленая линія, у индія одна синяя и одна фіолетовая линіи. У кадмія, цинка, алюминія цѣлые ряды ультрафіолетовыхъ линій. Раскаленный кислородъ имѣетъ двѣ красныя линіи, одну желтую, групу зеленыхъ линій и три групы синихъ и фіолетовыхъ линій, тогда какъ у водорода только четыре линіи — красная, голубая, синяя и ультрафіолетовая; спектръ же азота характеризуется многочисленными красными и оранжевыми линіями, съ особенными, около дюжины, синими и фіолетовыми линіями.

Подобныя изысканія привели къ новому способу изслѣдованія въ физикѣ и химіи, настолько же простому, сколько и плодотворному, именно къ спектральному анализу, съ исторіей и съ сущностью котораго мы должны теперь ближе ознакомиться.

Спектральный анализъ. *Уже Фраунгоферъ замѣтилъ, что* спектры солнца, луны и Венеры представляются однородными относительно

всѣхъ пересѣкающихъ ихъ темныхъ полосъ или линій, тогда какъ въ спектрахъ нѣкоторыхъ неподвижныхъ звѣздъ, какъ напр. Проціона, Капеллы и др., только нѣкоторыя линіи, преимущественно линіи D, тождественны съ линіями солнечнаго спектра. Брюстеръ изслѣдовалъ въ 1822 г. линіи различныхъ цвѣтныхъ огней. Пятью годами позже Дж. Гершель, который много занимался подобными изслѣдованіями, высказалъ впервые мысль, „что въ различіи спектровъ мы имѣемъ чрезвычайно рѣзкое средство открывать малѣйшіе слѣды нѣкоторыхъ тѣлъ". Такъ же опредѣленно высказался и Тальботъ, который нашелъ, что въ спектрѣ спиртового пламени соединенія калія вызываютъ характеристическую красную полосу; по его мнѣнію „если наблюденія произведены вѣрно, то достаточно одного взгляда на спектръ, чтобы открыть присутствіе веществъ, которыя иначе могли бы быть выдѣлены только кропотливымъ химическимъ анализомъ".

Но несмотря на ясно признанное большое значеніе этого предмета, занимались имъ долгое время только немногіе ученые. Даже фраунгоферовы линіи изслѣдовались мало.

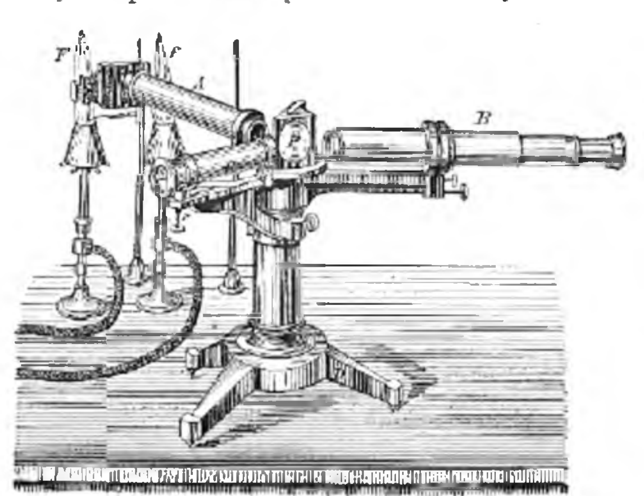
Какимъ же образомъ происходятъ фраунгоферовы линіи? Очевидно, что на ихъ мѣстахъ недостаетъ соотвѣтствующихъ свѣтовыхъ лучей. Но отсутствуютъ ли эти лучи въ самомъ источникѣ свѣта, или же они поглощаются при ихъ распространеніи въ эѳирѣ и атмосферѣ? Полагали сперва послѣднее, такъ какъ Брюстеръ замѣтилъ въ 1832 г., что нѣкоторыя линіи появляются или выступаютъ рѣзче, когда солнце стоитъ низко надъ горизонтомъ и лучи его проходятъ при этомъ болѣе длинный путь въ воздухѣ. Но многіе другіе факты, какъ неодинаковый видъ спектровъ различныхъ пламенъ, затѣмъ открытіе Вульстена (1835 г.), что отъ электрической искры получаются разныя линіи, смотря по тому, между какими металлами она перескакиваетъ и т. п., заставляютъ принять, что наблюдаемые въ спектрахъ перерывы и другія особенности обязаны своимъ происхожденіемъ также и самимъ свѣтовымъ источникамъ. Это положеніе и легло въ основу спектральнаго анализа, дальнѣйшее развитіе котораго обязано главнымъ образомъ двумъ знаменитымъ профессорамъ гейдельбергскаго университета Бунзену и Кирхгофу.

При историческомъ обзорѣ этого геніальнаго открытія не надо забывать о наблюденіи Вульстена, что въ спектрѣ отъ электрической искры, перескакивающей между двумя различными металлами, появляются линіи обоихъ металловъ; принять во вниманіе надо также, что послѣ того, какъ Фраунгоферъ обнаружилъ совпаденіе натріевой линіи съ линіей D солнечнаго спектра, Фуко въ 1849 г. сдѣлалъ открытіе, что въ спектрѣ электрическаго свѣта, въ которомъ вслѣдствіе загрязненія углей обыкновенно виднѣется свѣтложелтая натріевая линія, появляется напротивъ на этомъ мѣстѣ темная линія, если пропустить черезъ вольтову дугу солнечный свѣтъ. Это появленіе темной линіи надо приписать не потуханію свѣтлой линіи, какъ бы вслѣдствіе интерференціи свѣтовыхъ волнъ одинаковой преломляемости, а напротивъ увеличенію яркости всей остальной части, по контрасту съ которой прежняя свѣтлая линія паровъ натрія кажется темною. Въ предварительной разработкѣ спектральнаго анализа принимали участіе кромѣ того Фанъ-деръ-Виллигенъ, Сванъ, Стоксъ, Цантедески; далѣе обращаютъ на себя вниманіе классическіе опыты Плюккера въ Боннѣ надъ поглощательною способностью различныхъ газовъ и наконецъ въ особенности работы Энгстрёма, который былъ уже близокъ къ открытію основного закона. За сто лѣтъ передъ тѣмъ Эйлеръ въ своемъ трудѣ „Theoria lucis et caloris" высказалъ мысль, что каждое тѣло поглощаетъ свѣтъ такой длины волны, которая соотвѣтствуетъ періоду колебаній его собственныхъ малѣйшихъ частичекъ. Новѣйшими открытіями это положеніе казалось подтвержденнымъ,

и Энгстрёмъ въ 1853 г. установилъ законъ, по которому испускаемые раскаленнымъ газомъ лучи обладаютъ тою же самою преломляемостью, какъ тѣ, которые газомъ могутъ поглощаться.

Кирхгофъ и Бунзенъ, первый профессоръ физики, а второй профессоръ химіи въ Гейдельбергѣ, воспользовавшись накопленнымъ до нихъ матеріаломъ и добавивъ его новыми, добытыми ими самими фактами, создали наконецъ цѣлый новый методъ изслѣдованія — спектральный анализъ.

Чтобы убѣдиться въ замѣченномъ Фраунгоферомъ совпаденіи свѣтлой натріевой линіи съ темной линіей D солнечнаго спектра, Кирхгофъ поставилъ передъ щелью своего спектроскопа, освѣщенной слабымъ солнечнымъ свѣтомъ, натріевое пламя и увидалъ дѣйствительно на мѣстѣ линіи D свѣтлую полосу паровъ натрія. Когда онъ затѣмъ сильнѣе освѣтилъ щель солнечными лучами, то къ своему удивленію замѣтилъ, что линія D казалась теперь чернѣе, чѣмъ раньше, безъ натріеваго пламени. Оно должно было слѣдовательно поглотить солнечные лучи, соотвѣтствующіе линіи D, т.-е. такіе именно лучи, какіе и само оно испускаетъ. Что это дѣйствительно такъ, показалъ второй опытъ, въ которомъ солнечный свѣтъ замѣненъ былъ друммондовымъ свѣтомъ; и въ такомъ случаѣ, въ непрерывномъ спектрѣ его появилась черная линія какъ разъ на томъ мѣстѣ, гдѣ была желтая натріевая линія.



362. Спектроскопъ Кирхгофа и Бунзена.

Опытъ съ парами литія, спектръ котораго даетъ рѣзкую красную линію, привелъ къ тому же результату. Когда на щель спектроскопа, передъ которой поставлено было литіевое пламя, падалъ сильный солнечный свѣтъ, то въ спектрѣ на мѣстѣ красной литіевой линіи появлялась черная линія. На основаніи этихъ опытовъ съ обращеніемъ спектровъ Кирхгофъ установилъ слѣдующій важный законъ: „Отношеніе между испускательною и поглощательною способностями для одного и того же рода лучей для всѣхъ тѣлъ одно и то же при той же температурѣ". Это основной законъ спектральнаго анализа, такъ какъ изъ него вытекаетъ, что каждый газъ или паръ поглощаетъ или ослабляетъ тѣ именно свѣтовые лучи, какіе онъ самъ можетъ испускать въ раскаленномъ состояніи; примѣненіе этого закона дало замѣчательные результаты для химическаго анализа, для открытія новыхъ элементовъ и для физической астрономіи. Въ сотрудничествѣ съ Бунзеномъ Кирхгофъ между прочимъ изслѣдовалъ вліяніе температуры пламени на его спектръ и въ этой области достигъ поразительныхъ результатовъ.

Спектральные приборы. Мы обратимся теперь къ описанію приборовъ, служащихъ для спектральныхъ изслѣдованій. На рис. 362 изображенъ очень простого устройства спектроскопъ Бунзена. Призма P укрѣплена на столикѣ, поддерживаемомъ прочнымъ треножникомъ. На столбѣ треножника *находятся три подвижныхъ горизонтальныхъ выступа, къ которымъ прикрѣ*плены трубка съ щелью (коллиматоръ) A, зрительная трубка B и трубка съ

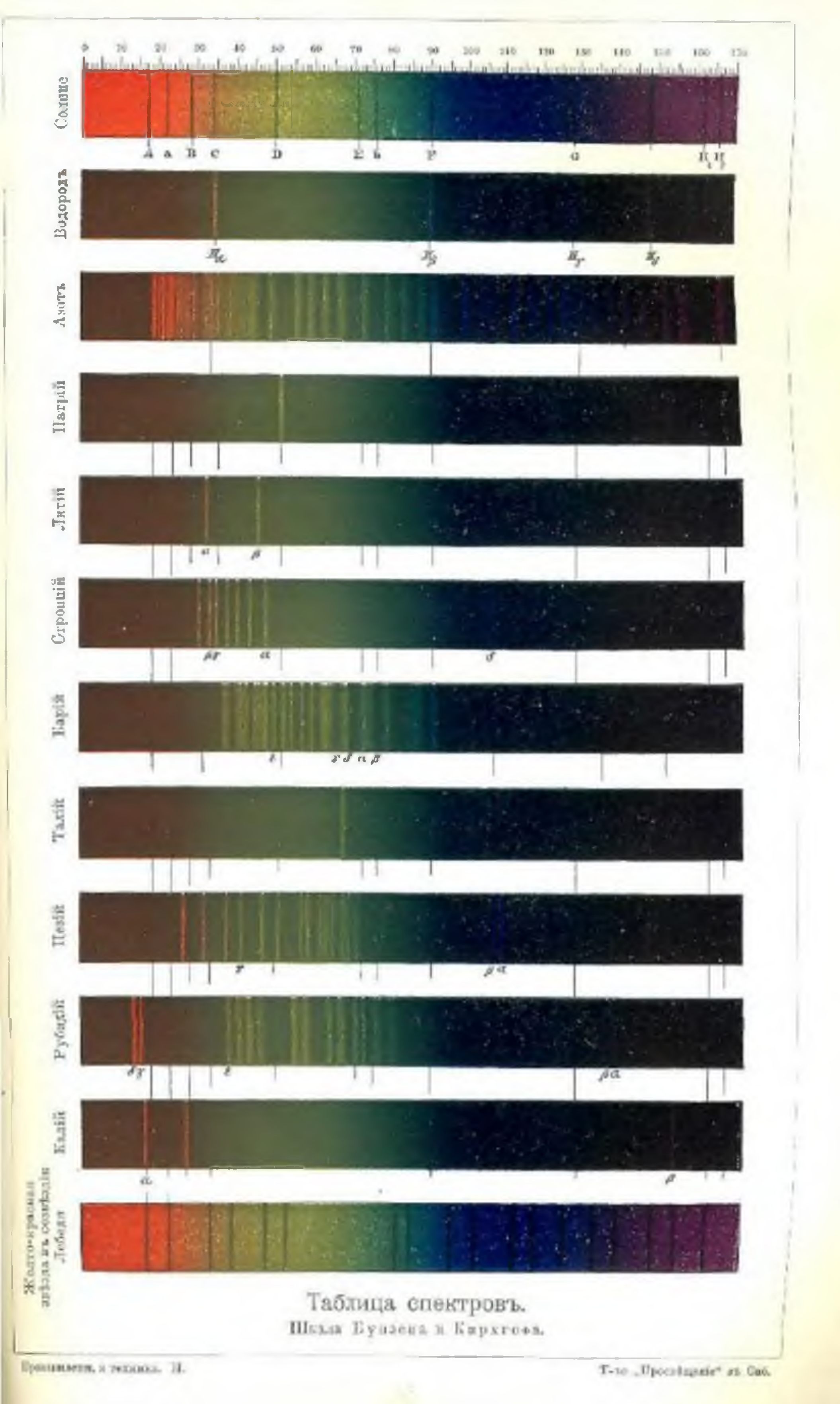
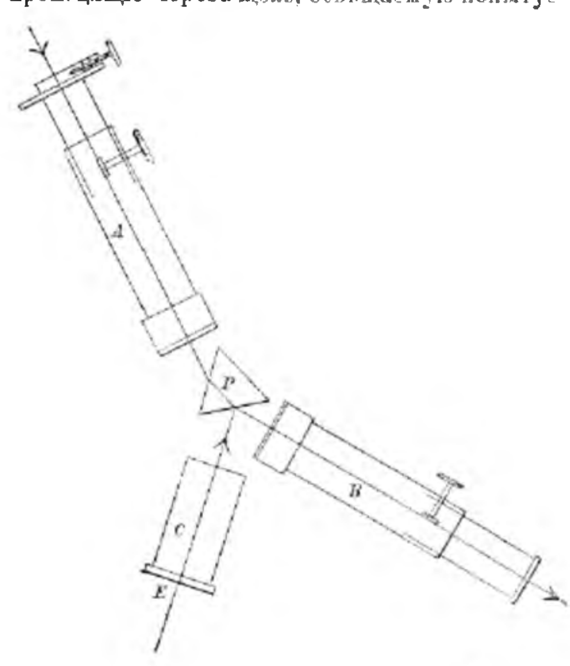


Таблица спектровъ.

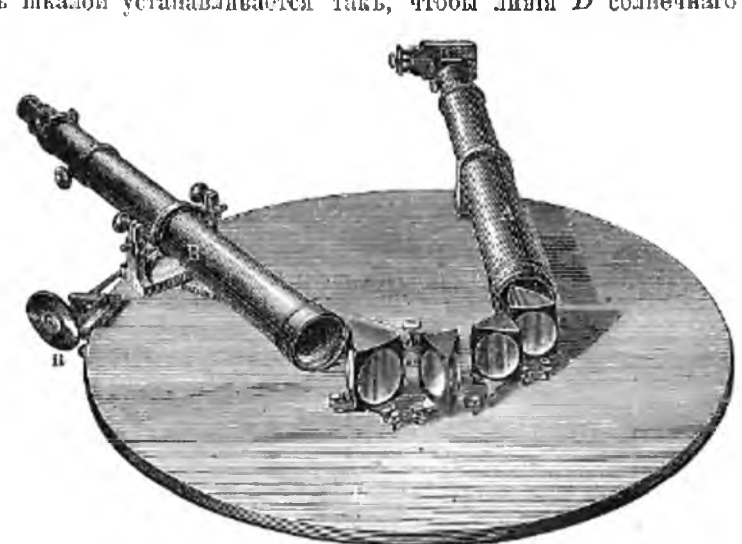
Шкала Бунзена и Кирхгофа.

Т-во „Просвѣщеніе" въ Спб.

шкалой *C*. Щель коллиматора можетъ сдвигаться и раздвигаться помощью микрометрическаго винта; лучи, проходящіе черезъ щель, освѣщаемую испытуемымъ пламенемъ, собираются выпуклымъ стекломъ на другомъ концѣ трубы въ параллельный пучокъ. Параллельные лучи, пройдя черезъ призму, попадаютъ въ зрительную трубу *B*, въ которой и получается изображеніе спектра. Труба *C* съ шкалой служитъ для опредѣленія положенія отдѣльныхъ частей спектра. Для этой цѣли на одномъ ея концѣ имѣется стеклянная пластинка съ микрометрическими дѣленіями, освѣщаемыми лампой. Посредствомъ выпуклаго стекла на другомъ концѣ трубки лучи, проходящіе черезъ него изъ освѣщенной шкалы, становятся параллельными между собою и, падая на грань призмы, отражаются отъ нея въ зрительную трубу. Такимъ образомъ, наблюдатель увидитъ въ трубу какъ спектръ, такъ и дѣленія шкалы. По предложенію Бунзена труба съ шкалой устанавливается такъ, чтобы линія *D* солнечнаго спектра приходилась на 50 дѣленій шкалы. Передъ щелью коллиматора ставится источникъ свѣта *F*, такъ называемая бунзеновская горѣлка; въ нижней части ея свѣтильный газъ смѣшивается съ притекающимъ въ нее воздухомъ. Эта смѣсь свѣтится незначительно, но зато обладаетъ высокою температурою и обращаетъ въ пары введенное на платиновой проволокѣ въ пламя испытуемое вещество. Лучи такимъ образомъ окрашеннаго пламени проникаютъ черезъ узкую щель и черезъ призму въ зрительную трубу.



363. Расположеніе трубъ въ спектроскопѣ.



364. Спектроскопъ съ 4 призмами Кирхгофа.

Описанный простой аппаратъ не при всѣхъ изслѣдованіяхъ удобенъ,

почему онъ и подвергся со стороны физиковъ и механиковъ разнымъ усовершенствованіямъ и видоизмѣненіямъ. Для усиленія дисперсіи или свѣторазсѣянія, напр., устроиваютъ приборы съ двумя и многими призмами. Впервые такой приборъ, по указаніямъ Кирхгофа, устроенъ былъ знаменитымъ оптикомъ Штейнгейлемъ въ Мюнхенѣ; помощью него Кирхгофъ въ состояніи былъ исполнить точный рисунокъ солнечнаго спектра въ большомъ масштабѣ (рис. 364). Въ этомъ спектроскопѣ четыре призмы, изъ которыхъ три съ преломляющими углами въ 45°, а четвертая съ угломъ въ 60°, *A*—коллиматоръ, *B*—зрительная труба. Помощью микрометрическаго винта *K* можно измѣрять угловыя разстоянія между отдѣльными линіями. Замѣчательный спектроскопъ съ девятью призмами устроенъ извѣстнымъ механикомъ Броуниngомъ въ Лондонѣ для обсерваторіи въ Кью. На рис. 366 показанъ ходъ лучей въ этомъ приборѣ. Подобный же прекрасный спектральный аппаратъ, устроенный Шрёдеромъ въ Гамбургѣ, имѣется въ астрономической обсерваторіи въ Потсдамѣ.



365. К. А. Штейнгейль.

Въ простомъ спектроскопѣ одну его призму легко установить въ положеніе наименьшаго ея отклоненія для среднихъ лучей спектра; для остальныхъ лучей это условіе будетъ тогда соблюдено съ достаточнымъ приближеніемъ. Въ сложныхъ спектроскопахъ съ нѣсколькими призмами такая установка уже затруднительна. Поэтому въ новѣйшихъ приборахъ устроиваютъ особыя приспособленія, посредствомъ которыхъ всѣ призмы заразъ автоматически могутъ быть установлены въ надлежащихъ ихъ положеніяхъ. Такой спектральный аппаратъ съ четырьмя призмами (Рутерфорда), устроенный фирмой Шмидтъ и Генчъ въ Берлинѣ, показанъ въ перспективномъ его видѣ на рис. 367, тогда какъ на рис. 368 указано особо упомянутое приспособленіе.

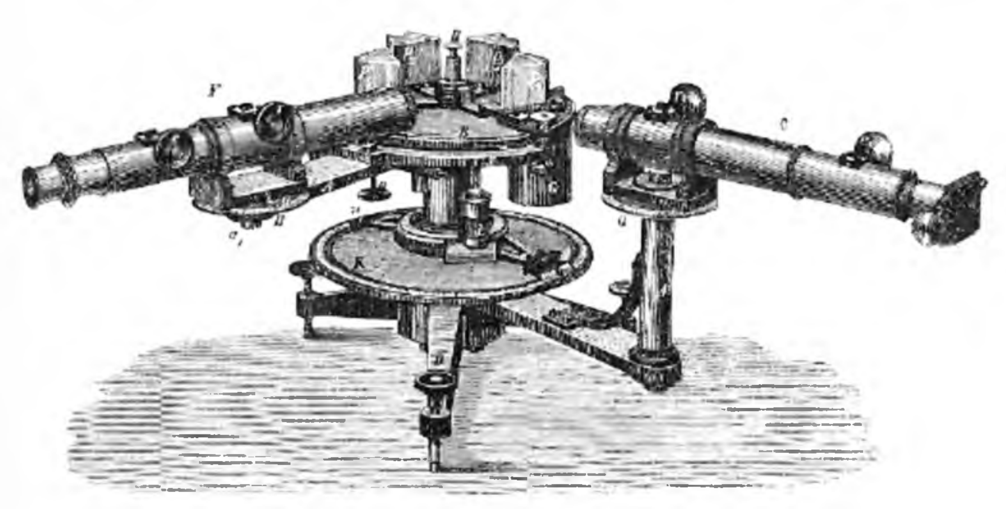
Примѣнимыя въ этомъ спектроскопѣ такъ называемыя рутерфордовскія призмы состоятъ изъ прямоугольныхъ призмъ, къ которымъ съ боковъ приклеены (въ обратномъ положеніи) по двѣ острыхъ призмы съ малымъ свѣторазсѣяніемъ, но значительнымъ отклоненіемъ. Такимъ образомъ, при незначительной потерѣ въ свѣторазсѣяніи, достигается значительное уменьшеніе отклоненія. Четыре металлическія полоски b_1, b_2, b_3, b_4, могущія вращаться около главной оси прибора, скрѣплены съ поперечными пластинками, которыя соединены между собою винтами *s*, и которыя можно передвигать въ радіальныхъ направленіяхъ. Первый винтъ *s* можетъ перемѣщаться въ радіальной выемкѣ круга *B*, тогда какъ по-

слѣдній винтъ *s* находится въ вырѣзкѣ полосы b_2, которая посредствомъ винта *z* и кривого рычага *x* скрѣплена съ зрительной трубой *F*; такимъ образомъ, при поворачиваніи трубы вокругъ главной оси, полосы *b* и призмы должны повернуться на такой же уголъ, такъ что попадающіе въ трубу лучи находятся всегда въ наименьшемъ своемъ отклоненіи. Большая дисперсія при маломъ числѣ призмъ можетъ быть достигнута посредствомъ жидкихъ призмъ. Такъ въ призмѣ Толлона, состоящей изъ сѣроуглеродной жидкой призмы и обратно приложенной къ ней кронгласовой призмы, дисперсія въ шесть разъ больше, чѣмъ въ обыкновенной флинтгласовой призмѣ съ угломъ 60°.



366. Ходъ лучей черезъ девять призмъ.

Диффракціонная рѣшетка. Въ послѣднее время вмѣсто спектрометровъ съ нѣсколькими призмами стали примѣнять такъ называемыя диффракціонныя рѣшетки, при помощи которыхъ можно получить значительное свѣторазсѣяніе. Преимущественно пользуются для полученія спектровъ отражательными диффракціонными рѣшетками, состоящими изъ металлическихъ гладкихъ пластинокъ, на которыхъ помощью приспособленной для этой цѣли дѣлительной машины нанесены въ большомъ числѣ и близко стоящіе другъ отъ друга штрихи. Диффракціонные спектры въ отличіе отъ призматическихъ спектровъ обладаютъ весьма важнымъ свойствомъ, заключающимся въ томъ, что углы отклоненій различныхъ лучей пропорціональны длинамъ волнъ, почему ими удобно пользоваться для абсолютныхъ опредѣленій свѣтовыхъ длинъ волнъ. Если предъ объективомъ коллиматора

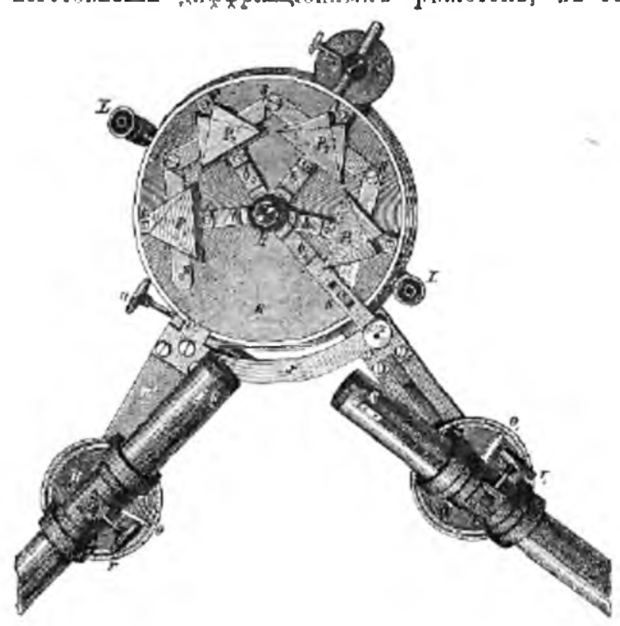


367. Спектроскопъ Шмидта и Генша.

поставить стеклянную диффракціонную рѣшетку такимъ образомъ, чтобы штрихи ея были параллельны освѣщенной щели, то въ зрительной трубѣ мы увидимъ цѣлый рядъ спектровъ. Такіе спектры различныхъ порядковъ располагаются симметрично по обѣ стороны оси коллиматора. Длина волны λ какого-либо луча вычисляется изъ формулы $\lambda = b.\ \sin\delta$, въ которой *b* означаетъ разстояніе между штрихами рѣшетки, а δ уголъ отклоненія

соотвѣтствующаго луча. Если рѣшетка отражательная, металлическая, то ее надо поставить такимъ образомъ, чтобы отраженные отъ нея лучи попадали въ трубу.

Что касается до приготовленія рѣшетокъ, то первыя изъ нихъ были сдѣланы Фраунгоферомъ и состояли или изъ рамки съ натянутыми въ ней тонкими параллельными проволоками или изъ стеклянной пластинки, покрытой сажей, и нанесенныхъ на послѣдней мелкихъ дѣленій, штриховъ. Но очень мелкія рѣшетки не могутъ быть изготовлены такимъ образомъ. Хорошія стеклянныя рѣшетки изготовлялись позднѣе Нобертомъ при помощи дѣлительной машины съ алмазнымъ рѣзцомъ, причемъ на одномъ сантиметрѣ наносилось до 4000 штриховъ. Въ новѣйшее время техника изготовленія диффракціонныхъ рѣшетокъ, въ особенности металлическихъ, настолько ушла впередъ, что теперь для наблюденія яркихъ спектровъ пользуются почти исключительно ими, а не призмами. Превосходныя рѣшетки приготовляются теперь Ваншафомъ въ Берлинѣ, Рутерфордомъ и Бреширомъ въ Америкѣ. По всѣхъ ихъ превосходятъ вогнутыя металлическія (изъ такъ называемаго зеркальнаго металла) рѣшетки профессора Роуланда въ Бальтиморѣ. При помощи ихъ получается прямо дѣйствительное изображеніе спектровъ, безъ помощи вспомогательныхъ выпуклыхъ стеколъ, почему ими пользуются между прочимъ для фотографированія спектровъ. Такимъ образомъ былъ составленъ въ Америкѣ въ 1888 г. отличный подробный атласъ солнечнаго спектра изъ 20 фотографій отдѣльныхъ частей спектра, каждая длиною въ 89 см. и высотою въ 8,2 см.; общая длина всего спектра составляетъ, слѣдовательно, около 18 метровъ.



368. Тотъ же приборъ (сверху).

Прямой спектроскопъ (Spéctroscope à vision directe). Для наблюденій спектровъ свѣтовыхъ источниковъ не постоянныхъ, подвижныхъ, какъ напр. падающихъ звѣздъ и т. п., обыкновенные, описанные выше колѣнчатые спектроскопы неудобны, ихъ невозможно установить быстро надлежащимъ образомъ. Амичи въ 1860 г. устроилъ прямой спектроскопъ и тѣмъ устранилъ указанное неудобство.

Извѣстно, что призмы изъ различныхъ сортовъ стекла и отклоняютъ и разсѣиваютъ свѣтовые лучи различнымъ образомъ. Призма изъ флинтгласа при такомъ же отклоненіи среднихъ лучей, какое даетъ и кронгласовая призма, образуетъ между тѣмъ гораздо болѣе длинный спектръ, чѣмъ послѣдняя. Поэтому, если къ флинтгласовой призмѣ присоединить въ обратномъ положеніи надлежащимъ образомъ отшлифованную кронгласовую призму такъ, чтобы оба отклоненія ими лучей въ обратныя стороны взаимно уничтожались,

то лучи, при прохожденіи ихъ черезъ эту систему призмъ, сохранятъ свое первоначальное направленіе; но свѣторазсѣяніе при этомъ не уничтожится, такъ какъ оно въ первой призмѣ больше, чѣмъ во второй. Можно увеличить свѣторазсѣяніе, если пропустить лучи черезъ нѣсколько такихъ паръ призмъ. Вотъ на этомъ основаніи и устроены прямые спектроскопы Амичи, Жансена въ Парижѣ и Броунинга въ Лондонѣ (рис. 369).



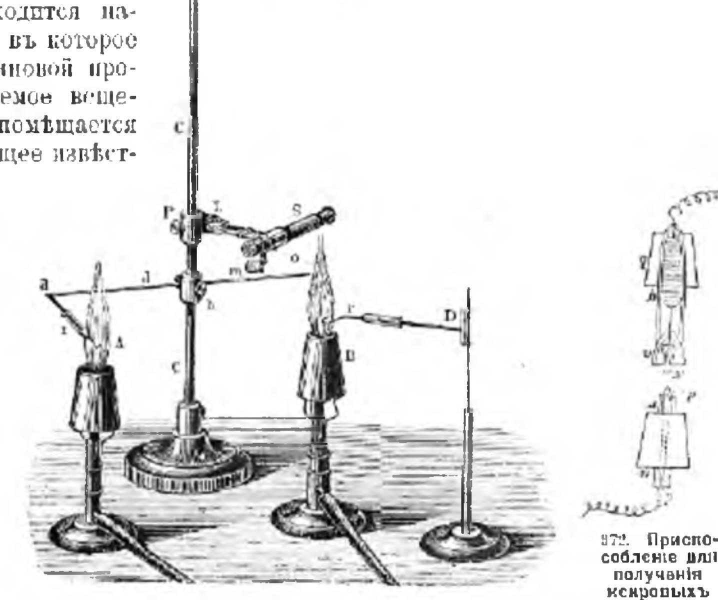
369. Прямолинейная система призмъ.

Очень удобны для различныхъ наблюденій карманные спектроскопы Броунинга, не болѣе 8 см. длиною; въ нихъ имѣются система изъ семи призмъ, коллиматоръ и зрительная трубка. На рис. 370 изображенъ броунинговскій спектроскопъ, измѣненный Фогелемъ. Щель въ немъ можетъ быть сужена или расширена вращеніемъ трубки *s*. Установка предварительная производится такимъ образомъ:



370.

суживъ, насколько можно, щель, смотрятъ черезъ спектроскопъ на небо и выдвигаютъ трубку съ призмами настолько, чтобы ясно видны были фраунгоферовы линіи. Рис. 371 показываетъ примѣненіе карманнаго спектроскопа для наблюденій пламени. Въ *A* находится наблюдаемое пламя, въ которое вводится на платиновой проволокѣ *o* испытуемое вещество. Сбоку въ *B* помѣщается другое пламя, дающее извѣстный спектръ, съ которымъ сравнивается изучаемый спектръ. Для такого сравненія можетъ служить и солнечный спектръ. Какъ въ томъ, такъ и другомъ случаѣ свѣтъ вводится въ спектроскопъ помощью зеркальца *m*, бокового отверстія *o* и призмочки, прикрывающей половину щели; такимъ образомъ въ спектроскопѣ получаются одинъ надъ другимъ два сравниваемыхъ спектра.

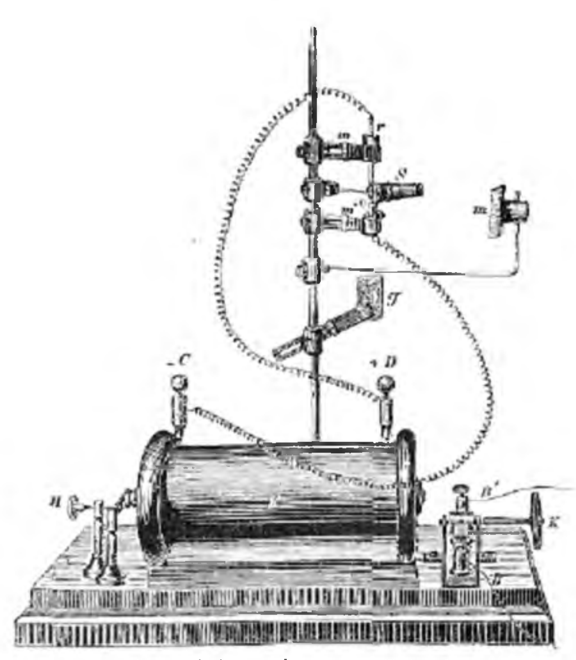


371. Примѣненіе карманнаго спектроскопа.

372. Приспособленіе для полученія искровыхъ спектровъ.

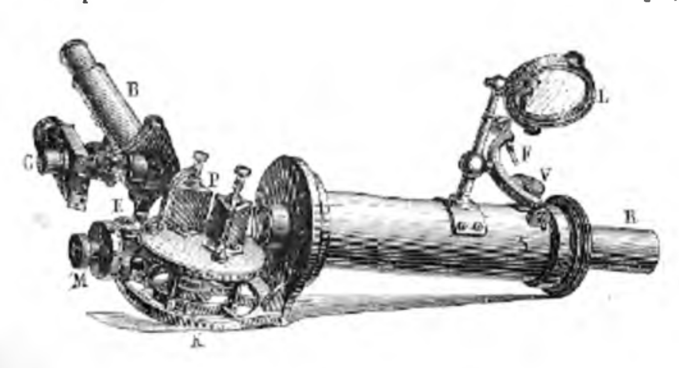
Для изслѣдованія спектровъ металлическихъ растворовъ помощью искры примѣняютъ слѣдующее приспособленіе: въ нижней изъ двухъ пробокъ *a* и *b* (рис. 372), укрѣпленныхъ на штативѣ (рис. 373), вставлена стеклянная трубка *g*

съ ртутью; платиновая проволока, впаянная въ эту трубку, соединена съ индукторомъ F (румкорфовой катушкой). Испытуемую же жидкость наливаютъ въ маленькое блюдце n, въ которое тоже впаяна платиновая проволока, которая другимъ концомъ погружена въ ртуть (q); на эту проволоку надѣта волосная трубочка x. Противъ нея находится трубочка r, поддерживаемая трубкой a, и сквозь которую продѣта платиновая проволока d. Эта проволока сообщается съ положительнымъ полюсомъ индуктора. При дѣйствіи индуктора перескакиваютъ между x и r искры. Жидкость, помѣщающаяся въ блюдцѣ n, подымается въ волосной трубочкѣ x и разлагается подъ дѣйствіемъ искръ, спектръ которыхъ наблюдается помощью спектроскопа.



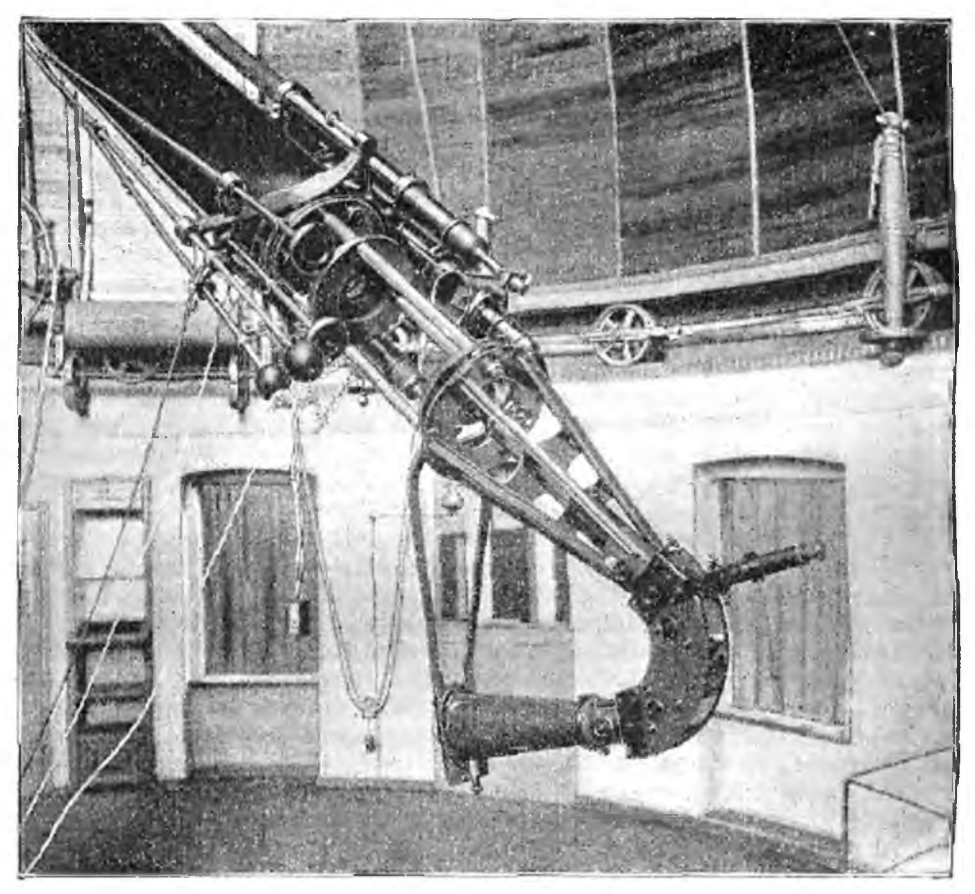
373. Наблюденіе спектра искръ.

Спектроскопъ для наблюденія звѣздъ. Для наблюденія солнечнаго спектра можно пользоваться сильно разсѣивающими спектроскопами; при изслѣдованіи же слабаго свѣта планетъ, звѣздъ, кометъ и туманныхъ пятенъ большое свѣторазсѣяніе не годится, такъ какъ яркость спектра будетъ слишкомъ мала. Въ такихъ случаяхъ примѣняютъ особые звѣздные спектроскопы. Рис. 374 показываетъ устройство часто примѣняемаго спектроскопа Гюггинса, изготовленнаго для астрофизической обсерваторіи въ Потсдамѣ Дж. Броунингомъ. Съ коллиматоромъ S скрѣпленъ кругъ K со столикомъ для двухъ призмъ P. Положеніе зрительной трубы B относительно дѣленій круга K отсчитывается помощью ноніуса; для той же цѣли служитъ также микрометрическій винтъ M. Зеркальце L назначено для отбрасыванія свѣта, какъ объ этомъ уже говорилось при описаніи карманнаго спектроскопа, съ цѣлью получить рядомъ съ наблюдаемымъ спектромъ еще другой, извѣстный, для сравненія ихъ. G представляетъ еще другой микрометръ, помощью котораго при неподвижной трубѣ можно произвести сравнительныя измѣренія спектральныхъ линій передвиженіемъ освѣщенныхъ нитей, которыя проектируются на фонѣ спектра свѣтлыми линіями.



374. Звѣздный спектроскопъ.

Фотографированіе спектровъ звѣздъ. Примѣненіе фотографіи для изученія спектровъ небесныхъ тѣлъ пріобрѣло въ послѣднее время огромное значеніе. Преимущества этого способа изслѣдованія обнаруживаются въ особенности въ случаѣ очень слабыхъ свѣтовыхъ источниковъ. Когда глазъ, вслѣдствіе слишкомъ слабаго освѣщенія, не можетъ разсмотрѣть спектра, фотографическая пластинка можетъ обнаружить его, если время экспозиціи достаточно продолжительное. Глазъ не въ состояніи различить въ узкой полосѣ разныхъ подробностей; на фотографическомъ же снимкѣ помощью



875. Спектрографъ астрофизической обсерваторіи въ Потсдамѣ.

микроскопа можно изучить спектръ во всѣхъ деталяхъ. При фотографированіи можно пользоваться и большимъ свѣторазсѣяніемъ. Наконецъ, невидимые для глаза ультрафіолетовые лучи оказываютъ, какъ мы знаемъ, наиболѣе сильныя химическія дѣйствія.

Первыми фотографическими снимками спектровъ звѣздъ наука обязана Гюггинсу (1864 г.). Онъ сначала примѣнилъ фотографію къ своимъ изслѣдованіямъ спектра Сиріуса и къ своему удивленію замѣтилъ въ спектрѣ на ряду съ извѣстными ему водородными линіями, $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, еще нѣсколько другихъ, до тѣхъ поръ еще не наблюдавшихся, въ ультрафіолетовой части.

Мы опишемъ теперь вкратцѣ замѣчательный спектрографъ, принадлежащій астрофизической обсерваторіи въ Потсдамѣ. Въ одиннадцатидюймовомъ рефракторѣ окуляръ замѣненъ спектрографомъ, прикрѣпленнымъ къ

трубѣ помощью трехстержневаго штатива. Коллиматоръ находится внутри этого коническаго штатива; за нимъ находятся двѣ сильно разсѣивающія рутефордовскія призмы; далѣе идетъ фотографическая коническая камера, прочно скрѣпленная съ трубой. Внутри рефрактора, примѣрно на разстояніи *40 см. отъ щели, находится водородная Гейслерова трубка, такъ что наблю*даемый спектръ звѣзды пересѣкается линіею $H\gamma$, которая служитъ исходнымъ мѣстомъ для измѣреній и установленій. Помощью этого спектрографа между прочимъ полученъ спектръ α созвѣздія Оріона, при сравненіи котораго съ солнечнымъ спектромъ получилось въ общихъ чертахъ полное согласіе; линіи поглощенія въ α Оріона только сильнѣе и расплывчатѣе, чѣмъ въ спектрѣ солнца, такъ что въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ въ солнечномъ *спектрѣ отчетливо выдѣляются отдѣльныя группы линій, въ спектрѣ Оріона* виднѣются широкія полосы. Половина всѣхъ линій спектра α Оріона принадлежатъ спектру желѣза.

Результаты спектральныхъ изслѣдованій. Спектральный анализъ отличается отъ другихъ методовъ научныхъ изысканій главнымъ образомъ необычайной чувствительностью. По Бунзену и Кирхгофу, достаточно, напр., ввести трехмилліонную долю миллиграмма поваренной соли въ *пламя бунзеновской горѣлки, чтобы отчетливо еще замѣтить присутствіе* натрія. Вслѣдствіе такой чрезвычайной чувствительности, во всякомъ пламени, горящемъ въ свободномъ воздухѣ, обнаруживается натріевая линія, такъ какъ въ воздухѣ всегда почти находятся пылинки соли. Помощью спектроскопа обнаруживается между прочимъ, что при западномъ вѣтрѣ въ воздухѣ заключается больше натра, чѣмъ при сѣверо-восточномъ, такъ какъ въ первомъ случаѣ вѣтеръ проносится надъ моремъ, содержащимъ въ *растворѣ хлористый натрій, тогда какъ во второмъ случаѣ воздухъ при*носится съ суши.

Изслѣдованія Кирхгофа и Бунзена привели къ неожиданному результату, что нѣкоторыя тѣла, считавшіяся раньше весьма рѣдко встрѣчающимися въ природѣ, на самомъ дѣлѣ оказались весьма распространенными, слѣды ихъ находились, хотя и въ чрезвычайно малыхъ количествахъ, почти во всѣхъ каменныхъ породахъ и минеральныхъ водахъ. Но вмѣстѣ съ тѣмъ *новый анализъ привелъ ихъ къ открытію новыхъ тѣлъ; въ изученныхъ* спектрахъ оказались нѣкоторыя свѣтлыя линіи, не совпадавшія съ линіями въ спектрахъ извѣстныхъ до тѣхъ поръ различныхъ веществъ. Такъ напр., попадалась часто красная линія, лежащая передъ каліевой линіей, и вмѣстѣ съ ней нѣсколько другихъ въ опредѣленныхъ постоянныхъ положеніяхъ; приходилось имъ также наблюдать очень яркую голубую линію, сопровождаемую всегда нѣкоторыми опредѣленными другими линіями, причемъ эта *голубая линія не совпадала съ извѣстной стронціевой линіей. Такія новые* спектры наблюдались, и заразъ и порознь, преимущественно въ нѣкоторыхъ особенныхъ минералахъ, какъ напр. въ лепидолитѣ. Изъ этихъ опытовъ названные ученые заключили, что „въ лепидолитѣ и въ дюркхеймерскомъ разсолѣ должны заключаться два новыхъ элемента, о которыхъ химики не имѣли еще никакого понятія“.

Такъ заключили Бунзенъ и Кирхгофъ. Такимъ образомъ заключилъ и Леверье въ *Парижѣ*, когда *на основаніи* вычисленій онъ предсказалъ существованіе новой планеты Нептунъ, производящей возмущенія въ ходѣ другихъ планетъ. Планета эта была позднѣе дѣйствительно открыта Галлемъ согласно вычисленіямъ. И тѣ два элемента, существованіе которыхъ было предсказано двумя учеными на основаніи спектральнаго анализа, на самомъ дѣлѣ найдены были ими же и названы рубидіемъ и цезіемъ. Эти оба металла имѣютъ большее сродство къ кислороду, чѣмъ калій, *съ которымъ въ своихъ соединеніяхъ они имѣютъ нѣкоторое сходство,*

вслѣдствіе чего они не могутъ находиться въ природѣ въ чистомъ видѣ. Только при помощи гальваническаго тока удалось получить ихъ въ чистомъ видѣ. Послѣ этого посредствомъ спектральнаго же анализа Рейху въ Фрейбергѣ удалось открыть индій, характеризующійся прекрасной голубой линіей; такимъ же образомъ открытъ былъ затѣмъ Круксомъ (Crookes) таллій, спектръ котораго состоитъ изъ одной яркой зеленой линіей, а Лекокомъ де Буабодраномъ (Lecoq de Boisbaudran) галлій, съ особой фіолетовой линіей.

Но выдающееся значеніе новый методъ изслѣдованія пріобрѣлъ не только вслѣдствіе того, что при его помощи были открыты новые элементы; эти открытія можно считать ничтожными сравнительно съ космическими открытіями, сдѣланными помощью спектральнаго анализа въ тѣхъ міровыхъ областяхъ, изъ которыхъ до насъ ничего не достигаетъ кромѣ эѳирныхъ волнъ.

Послѣ того какъ были изслѣдованы спектры всевозможныхъ веществъ на землѣ при всевозможныхъ условіяхъ давленія, температуры и т. п., оказалось возможнымъ судить посредствомъ спектроскопа не только о химическомъ составѣ тѣлъ нашей солнечной системы, но даже и о составѣ неподвижныхъ звѣздъ, ближайшая изъ которыхъ отстоитъ отъ насъ около четырехъ билліоновъ миль; оказывалось возможнымъ даже тѣмъ же способомъ рѣшить другой вопросъ, дѣйствительно ли эти небесныя тѣла неподвижны, а если они движутся, то въ какую сторону и съ какой скоростью. Упомянутый уже англійскій астрономъ Гюггинсъ изучалъ между прочимъ не только свѣтъ неподвижныхъ звѣздъ, но и туманнаго пятна (въ созвѣздіи Оріона), и изъ всѣхъ наблюденій, именно по перемѣщенію въ опредѣленную сторону спектральныхъ линій, могъ заключить, что α Оріона, напр., удаляется отъ солнца со скоростью примѣрно 35 километровъ въ секунду.

Истинное значеніе фраунгоферовыхъ линій въ солнечномъ спектрѣ выяснено было только послѣ того, какъ Кирхгофъ установилъ основной законъ спектральнаго анализа и на опытѣ доказалъ, что тѣло въ парообразномъ состояніи поглощаетъ тѣ именно свѣтовые лучи, которые оно само испускаетъ, находясь въ видѣ раскаленнаго пара. При сравненіи солнечнаго спектра съ спектрами различныхъ земныхъ тѣлъ оказалось, что очень большое число его темныхъ линій занимаетъ вполнѣ то положеніе, которое соотвѣтствуетъ свѣтлымъ линіямъ въ спектрахъ земныхъ тѣлъ. Такъ напр., въ спектрѣ желѣза имѣется 400 свѣтлыхъ линій, которыя по наблюденіямъ Кирхгофа, Гофмана, Энгстрёма и Талена вполнѣ совпадаютъ съ такимъ же числомъ темныхъ линій въ солнечномъ спектрѣ; подобно этому и свѣтлыя линіи натрія, калія, марганца, хрома, никкеля, кобальта, кальція, барія, магнія, мѣди, водорода и т. д. имѣютъ себѣ соотвѣтствующія темныя линіи въ солнечномъ спектрѣ.

Изъ кирхгофскаго закона, какъ простое логическое слѣдствіе, прямо вытекалъ выводъ, что вокругъ ярко свѣтящагося солнца должна находиться особая атмосфера, заключающая въ себѣ пары всѣхъ тѣхъ веществъ, которыя поглощаютъ соотвѣтствующіе ихъ спектру лучи. Мы должны, слѣдовательно, представить себѣ солнце состоящимъ изъ свѣтящагося ядра, окруженнаго раскаленной атмосферой, низшей температуры, такъ называемой фотосферой. Безъ этой фотосферы свѣтъ солнечнаго ядра давалъ бы непрерывный спектръ; проходя же черезъ фотосферу, лучи частью ею поглощаются, и именно тѣ лучи, которые ею же испускаются, хотя болѣе слабо; такимъ образомъ и получаются въ солнечномъ спектрѣ сравнительно темныя фраунгоферовы линіи.

Спектральный анализъ далъ намъ кромѣ того средство для изученія явленій, происходящихъ на поверхности солнца. Помощью спектроскопа оказалось возможнымъ наблюдать во всякое время солнечные протубе-

ранцы, особые розовые облакообразные выступы значительной высоты (до 40 000 миль) и перемѣнной формы, которые до тѣхъ поръ удавалось видѣть только во время полнаго солнечнаго затменія. Съ этой цѣлью раньше снаряжались цѣлыя экспедиціи, снабженныя громоздкими и дорогими приборами, тогда какъ теперь съ 1869 года для такихъ наблюденій, которыя могутъ быть произведены во всякое время, достаточенъ простой спектроскопъ. Сущность дѣла заключается въ томъ, что при помощи большого числа призмъ можно значительно разсѣять и ослабить бѣлый свѣтъ, тогда какъ однородный свѣтъ, примѣшанный къ бѣлому свѣту и имъ скрываемый, при прохожденіи черезъ призмы не ослабляется. На этомъ и основали Локіеръ (Lokyer) и Жансенъ (Janssen) способъ наблюденій *одноцвѣтныхъ протуберанцовъ*. Все указываетъ на то, что протуберанцы обусловливаются громадными изверженіями водорода, такъ какъ спектры ихъ состоятъ изъ нѣсколькихъ свѣтлыхъ линій, совпадающихъ съ водородными линіями.



373. І. Н. Локіеръ.

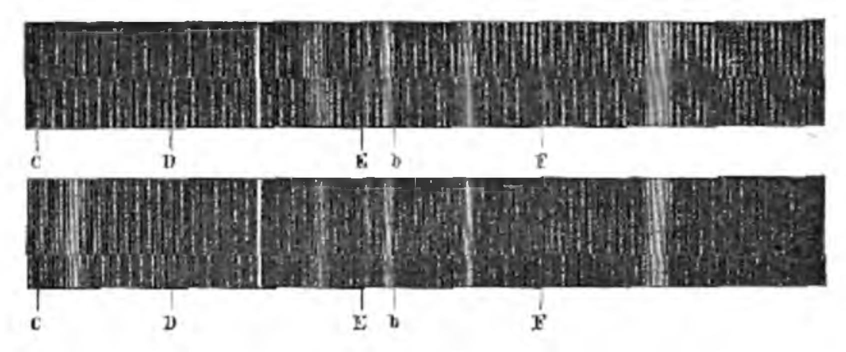
На основаніи спектроскопическихъ наблюденій **туманныя пятна** надо признать за облакоподобныя образованія. Спектръ ихъ не непрерывный, а состоитъ изъ четырехъ линій, наиболѣе яркой изъ которыхъ соотвѣтствуетъ длина волны въ 500,4 милліонныхъ миллиметра; отсюда надо заключить, что эти космическія образованія въ своихъ существенныхъ составныхъ частяхъ заключаютъ раскаленные, сильно разрѣженные газы. Такъ какъ въ спектрахъ нѣкоторыхъ туманныхъ пятенъ, напр. кольцевого пятна въ Лирѣ и пятна въ Водолеѣ, наиболѣе яркія линіи соотвѣтствуютъ линіямъ азота, а другія двѣ совпадаютъ съ двумя водородными линіями $H\beta$ и $H\gamma$, то слѣдовательно въ этихъ небесныхъ тѣлахъ должны заключаться именно эти два газа.

Первыя спектральныя изслѣдованія **кометъ**, произведенныя въ 1864 г. **Донати**, привели къ результату, подтвержденному и позднѣйшими наблюденіями, что *часть испускаемаго кометами свѣта принадлежитъ имъ самостоятельно*, такъ какъ на общемъ фонѣ непрерывнаго спектра ихъ замѣчаются еще три свѣтлыя полосы. Изъ произведенныхъ, пока еще немногочисленныхъ, наблюденій оказывается, что спектры кометъ представляютъ удивительное сходство съ спектромъ раскаленнаго углеводорода; по другимъ спектральнымъ изслѣдованіямъ оказывается кромѣ того, что часть самостоятельнаго свѣченія кометъ слѣдуетъ приписать извѣстнымъ электрическимъ явленіямъ.

Спектральныя изслѣдованія были распространены между прочимъ и на дѣйствительную солнечную атмосферу, т. наз. корону, и на зодіакальный свѣтъ, и на полярныя сіянія. Спектръ сѣвернаго сіянія, представленный на рис. 377 по наблюденіямъ Фогеля въ Потсдамѣ, прерывистый; онъ характеризуется очень свѣтлой линіей въ зеленой части. Напротивъ, спектръ зодіакальнаго свѣта непрерывный, въ которомъ замѣчается часто также и линія сѣвернаго сіянія.

Что же касается спектра молніи, то онъ соотвѣтствуетъ спектрамъ кислорода и азота, т.-е. воздуха, которые наблюдаются при разрядахъ электрической машины.

Важныя услуги спектроскопъ оказалъ не только въ области астрофизики, но и по отношенію къ другимъ наукамъ, физіологіи, медицинѣ и т. д. Локьеръ въ своихъ лекціяхъ сообщилъ объ одномъ англійскомъ врачѣ, который впрыскивалъ очень слабый растворъ литіевой соли подъ кожу морской свинки, съ цѣлью изслѣдовать, съ какой скоростью въ животномъ тѣлѣ распространяются извѣстныя вещества. Этотъ вопросъ представляетъ большое



377. Спектръ сѣвернаго сіянія по Г. Фогелю.

значеніе для практической медицины. Въ этихъ опытахъ извѣстная литіевая линія въ спектрѣ указала, что впрыснутое вещество проникло въ желчь уже черезъ 4 минуты; черезъ 10 минутъ уже все тѣло было имъ пропитано, даже въ хрусталикѣ глаза можно было обнаружить слѣды его. Такимъ же образомъ послѣ глазныхъ операцій можно было доказать присутствіе углекислаго литія, принятаго за нѣсколько часовъ передъ тѣмъ, во всѣхъ органахъ тѣла, а также и въ хрусталикѣ глаза.

Спектральный анализъ нашелъ въ послѣднее время примѣненіе и въ техникѣ. Такъ напр., спектральныя изслѣдованія значительно облегчаютъ и удешевляютъ бессемеровскій способъ приготовленія стали. Такъ какъ, именно, литая сталь должна содержать опредѣленный процентъ углерода, причемъ этотъ процентъ не долженъ быть перейденъ, то весьма важно имѣть возможность остановить процессъ какъ разъ во-время, иначе все содержимое реторты, обыкновенно болѣе ста центнеровъ, станетъ негоднымъ. Спектроскопъ и даетъ возможность уловить этотъ надлежащій моментъ. Наблюдается перемѣнный спектръ раскаленныхъ паровъ, выходящихъ изъ реторты; линіи углерода, въ началѣ процесса яркія, постепенно становятся все болѣе и болѣе тусклыми, по мѣрѣ выдѣленія угля изъ желѣза, и наконецъ совсѣмъ исчезаютъ. Въ этотъ моментъ долженъ быть прекращенъ потокъ воздуха. Никакое другое техническое приспособленіе не могло бы служить такимъ точнымъ указателемъ въ данномъ процессѣ, какъ спектроскопъ.

Тотъ же приборъ даетъ намъ средства распознавать фальсификацію пищевыхъ продуктовъ, это большое зло нашего времени.

При фабрикаціи красокъ спектроскопъ оказался полезнымъ и даже необходимымъ приборомъ, такъ какъ красящія вещества даже и въ очень разведенныхъ растворахъ обладаютъ особенными спектрами поглощенія. Такъ, *зеленое красящее вещество растеній, хлорофилъ, которое можно получить* въ растворѣ спирта или эеира, отличается линіями поглощенія въ красной и зеленой частяхъ спектра; ализаринъ характеризуется опредѣленными полосами поглощенія въ зеленой части; такимъ же образомъ распознаны различныя красныя краски, которыми пользуются часто для поддѣлки красныхъ винъ.

Въ судебной медицинѣ огромное значеніе имѣетъ спектръ поглощенія крови, красящее вещество которой, оксигемоглобинъ, обнаруживаетъ кромѣ поглощенія въ синей части еще двѣ рѣзкія поглощательныя полосы между фраунгоферовыми линіями D и E. Кровяныя пятна послѣ обработки ихъ извѣстными *химическими способами могутъ быть вполнѣ* точно и легко обнаружены посредствомъ спектра поглощенія, такъ же какъ перемѣщеніе обѣихъ поглощательныхъ полосъ въ спектрѣ крови можетъ указать на отравленіе окисью углерода. Упомянемъ, что для такихъ изслѣдованій особенно пригоденъ спектроскопъ Фогеля, дающій два сравниваемыхъ спектра (рис. 370).

Камера обскура (Camera obscura).

Оптическія изображенія въ темной комнатѣ. Оптическія чечевицы. Маяки. Прожекторы. Сферическая аберрація. Собирательныя чечевицы. Фокусное разстояніе. Изображенія дѣйствительныя и мнимыя. Ахроматическія чечевицы. Шлифовка чечевицъ. Камера обскура. Изображенія солнца во время солнечнаго затменія. Волшебный фонарь и туманныя картины.

Едва ли какой-нибудь другой физическій приборъ можетъ сравниться съ камерой обскурой по впечатлѣнію, которое они могутъ произвести на наблюдателя.

Камера обскура даетъ намъ на листѣ бумаги изображеніе окружающаго ландшафта со всѣми его очаровательными красками, освѣщеніемъ и перспективой. Никакой художникъ не могъ бы воспроизвести картину съ такимъ совершенствомъ. Но больше всего поражаетъ въ такой картинѣ — это движеніе. Мы слѣдимъ въ ней за движеніемъ облаковъ, за качаніями деревьевъ, и намъ кажется, что мы ощущаемъ даже и самый вѣтеръ, вызывающій эти движенія. Мы видимъ здѣсь проѣзжающіе экипажи и снующихъ по разнымъ направленіямъ пѣшеходовъ — и мы невольно стараемся притаить дыханіе, чтобы уловить звуки. Можно цѣлые часы съ удовольствіемъ проводить надъ этой безпрерывно мѣняющей свой видъ чудной живой картиной. Между тѣмъ аппаратъ, вызывающій такія очаровательныя картины, почти настолько же простъ, какъ и волшебная палочка. Столъ, зеркало и пара чечевицъ — вотъ и все. Что же такое эти чечевицы?

Оптическія чечевицы представляютъ различнаго вида сферическія стекла, изображенныя въ разрѣзѣ на рис. 378. Различаютъ выпуклыя и вогнутыя чечевицы. Выпуклыя стекла тѣ, которыя въ серединѣ толще, чѣмъ по краямъ. Они называются также собирательными или увеличительными чечевицами (или лупами), двояковыпуклыми (a) и плосковыпуклыми (b). Вогнутыя чечевицы, напротивъ, толще по краямъ, чѣмъ посерединѣ. Ихъ называютъ также разсѣивающими или уменьшительными, причемъ различаютъ двояковогнутыя (d) и плосковогнутыя (e) чечевицы. Кромѣ того, могутъ быть еще вогнутовыпуклыя (c), собирательныя чечевицы и выпукловогнутыя (f), разсѣивающія чечевицы.

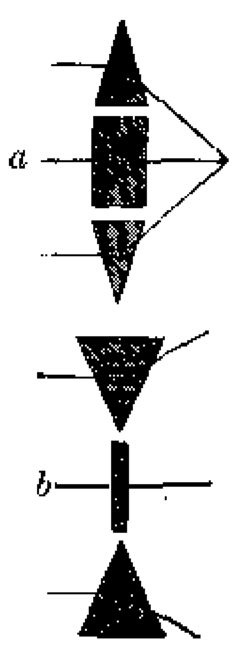
Прямая линія, соединяющая центры шаровыхъ поверхностей чечевицы, называется главною осью ея. Въ случаѣ плосковыпуклаго или вогнутаго

стекла главная ось есть направленіе перпендикуляра къ плоскости, проведеннаго черезъ центръ кривизны.

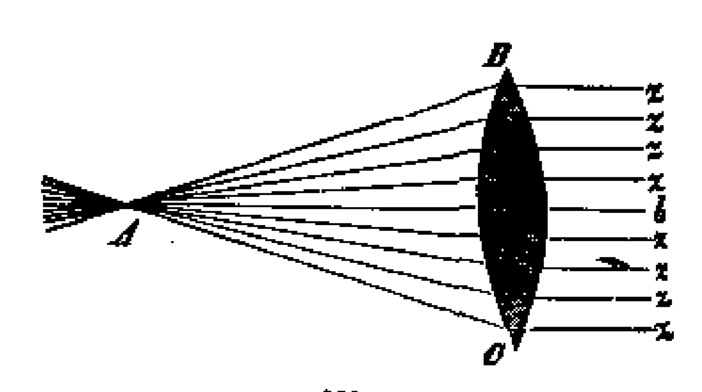
Объ оптическомъ дѣйствіи чечевицъ мы можемъ составить себѣ понятіе, разсматривая ихъ, какъ бы составленныхъ изъ призмъ (рис. 379). Вообразимъ себѣ двѣ призмы и между ними пластинку, расположенныя такъ, какъ показано на рис. 379а; очевидно тогда, что та часть параллельныхъ лучей, которая проходитъ черезъ пластинку, не измѣнитъ своего направленія; лучи же, проходящіе черезъ призмы, отклонятся къ оси (случай собирательной чечевицы). Когда же обѣ призмы и пластинки



378. Собирательныя и разсѣивающія чечевицы.



379. Свойства чечевицъ.

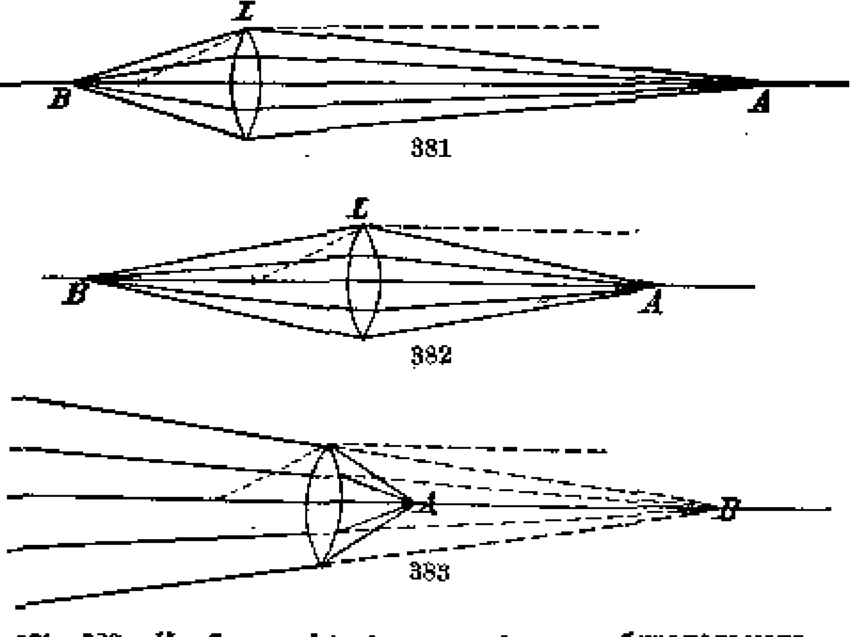


380. Собирательная чечевица.

будутъ расположены такъ, какъ на рис. 379b, тогда вышедшіе изъ призмъ лучи будутъ удаляться отъ оси, получится вмѣсто первоначально параллельнаго пучка лучей расходящійся пучокъ (случай разсѣивающей чечевицы).

На самомъ дѣлѣ, разумѣется, явленіе не такъ просто, такъ какъ вслѣдствіе кривизны чечевицъ мы должны бы были замѣнить ихъ безчисленнымъ множествомъ призмъ съ непрерывно измѣняющимися преломляющими углами.

Понятно, что тѣ лучи, которые падаютъ на воображаемыя призмы (рис. 379а), ближе къ оси, и пересѣкутъ ось раньше, чѣмъ лучи, проходящіе около вершины призмы. Чѣмъ выше и острѣе такія призмы, тѣмъ на большемъ протяженіи расположатся точки пересѣченія различныхъ лучей. Но такъ



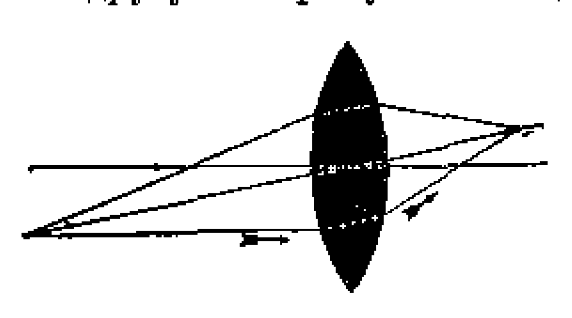
381—383. Изображенія точки помощью собирательнаго стекла.

какъ въ воображаемыхъ призмахъ, замѣняющихъ собою чечевицы, преломляющіе углы ихъ увеличиваются по мѣрѣ удаленія ихъ отъ оси, то крайніе лучи будутъ отклоняться больше, чѣмъ средніе, и потому выпуклою чечевицею лучи могутъ собираться почти въ одну точку, какъ это изображено на рис. 380. Въ вогнутыхъ же чечевицахъ лучи не собираются въ одну точку, а напротивъ разсѣиваются.

Оптическія свойства чечевицы зависятъ какъ отъ ея преломляющей способности, т.-е. отъ матеріала, изъ котораго она сдѣлана, такъ и отъ ея величины и ея кривизны.

Точка *A* (рис. 380), въ которой сходятся лучи, падающіе на выпуклую чечевицу параллельно ея главной оси, называется **главнымъ фокусомъ** чечевицы; разстояніе же этой точки, лежащей на главной оси, отъ середины чечевицы носитъ названіе **главнаго фокуснаго разстоянія**.

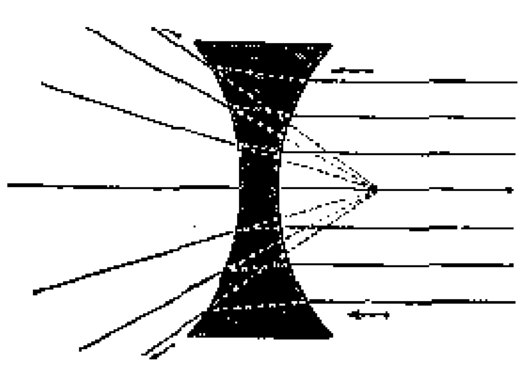
Если на чечевицу *L* падаютъ лучи изъ одной свѣтящейся точки *A*, лежащей на главной оси (рис. 381), то точка *B*, въ которой лучи соединяются по другую сторону чечевицы, называется **дѣйствительнымъ изображеніемъ** свѣтящейся точки. Чѣмъ ближе свѣтящаяся точка къ чечевицѣ, тѣмъ дальше по другую сторону лежитъ точка соединенія преломленныхъ лучей. Если свѣтящаяся точка будетъ находиться въ фокусѣ, то выходящіе изъ чечевицы лучи будутъ параллельны оси. Тотъ же рис. 380 относится и къ этому обратному случаю. Свѣтящаяся точка и ея изображеніе могутъ быть замѣнены одна другою. Это **двѣ сопряженныя точки** (или фокусы). Когда же свѣтящаяся точка будетъ помѣщена между фокусомъ и чечевицей, тогда по выходѣ изъ чечевицы пучокъ лучей будетъ расходящійся.


384. Побочная ось.

Итакъ, для выпуклой чечевицы мы должны различать три случая (такъ же, какъ и для вогнутаго зеркала):

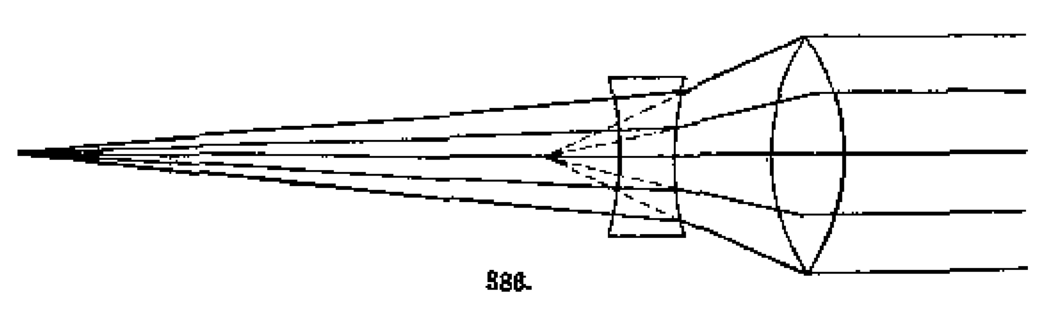
1) Если свѣтящаяся точка *A* находится за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то дѣйствительное ея изображеніе *B* лежитъ по другую сторону чечевицы на разстояніи, большемъ фокуснаго и меньшемъ двойного фокуснаго разстоянія (рис. 381).

2) Если точка *A* удалена отъ чечевицы на двойное фокусное разстояніе, то и изображеніе ея *B* по другую сторону находится на такомъ же разстояніи (рис. 382).


385. Двояковыгнутая чечевица.

3) Если точка *A* лежитъ между чечевицей и ея фокусомъ (рис. 383), то лучи чечевицей уже не собираются, а разсѣиваются. Продолженія этихъ расходящихся лучей въ обратную сторону пересѣкаются въ точкѣ *B*, которая называется **мнимымъ изображеніемъ** точки *A*.

Такимъ же образомъ преломляются выпуклою чечевицею лучи, исходящіе изъ точки, не лежащей на главной оси, какъ это показываетъ рис. 384. При этомъ лучи, проходящіе черезъ середину чечевицы, называются **побочными осями**.

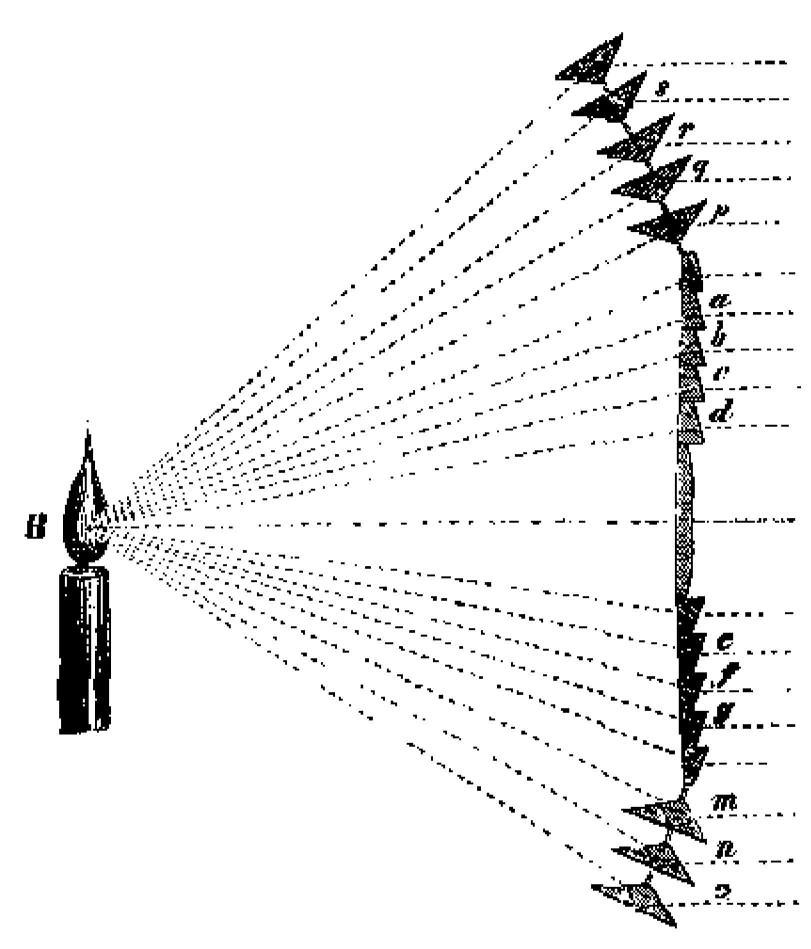

386.

Въ **вогнутыхъ или разсѣивающихъ чечевицахъ** нѣтъ такихъ точекъ, въ которыхъ собирались бы падающіе на нихъ параллельные или расходящіеся лучи. Если же продолжить по другую сторону выходящіе изъ чечевицы расходящіеся лучи, то продолженія эти сойдутся въ одной точкѣ, называемой **мнимымъ фокусомъ** (рис. 385). Онъ всегда лежитъ съ той же стороны чечевицы, какъ и свѣтящаяся точка. Коническій пучокъ лучей, выходящихъ изъ выпуклой чечевицы, падая на разсѣивающее стекло, притомъ такъ, что вершина конуса приходится между нимъ и его мнимымъ фокусомъ, не разсѣивается, а собирается только въ болѣе удаленной точкѣ (рис. 386).

Очень важное практическое примѣненіе сферическихъ стеколъ встрѣчается въ маячныхъ фонаряхъ. Рис. 388 даетъ намъ внѣшній видъ такого аппарата, а на рис. 387 показанъ ходъ лучей черезъ чечевицы и призмы.

При устройствѣ маяковъ приходится имѣть въ виду не только получить по возможности сильный свѣтъ, но и притомъ такой, который сразу могъ бы быть признанъ за маячный свѣтъ и который нельзя бы было смѣшать съ какимъ-нибудь другимъ. Для удовлетворенія этого послѣдняго требованія было придумано много способовъ и приборовъ, но лучшимъ изъ нихъ надо признать то приспособленіе, въ которомъ свѣтъ періодически, правильнымъ образомъ, прерывается. Это можетъ быть достигнуто, между прочимъ, вращеніемъ фонаря, изъ котораго выходятъ отдѣльные пучки параллельныхъ лучей.

Обыкновенно источникомъ свѣта служитъ электрическая лампа. Вращеніе же фонаря производится посредствомъ часового механизма. Въ средней части фонаря преломленіе лучей производится не цѣльными отдѣльными чечевицами, а посредствомъ френелевой концентрической системы кольцевыхъ чечевицъ (цѣльныя большія чечевицы, вслѣдствіе ихъ значительной толщины, обусловливали бы замѣтную потерю свѣта). Въ верхней и нижней частяхъ параллельность выходящихъ лучей достигается помощью зеркалъ и полнаго внутренняго отраженія въ призмахъ (рис. 387).



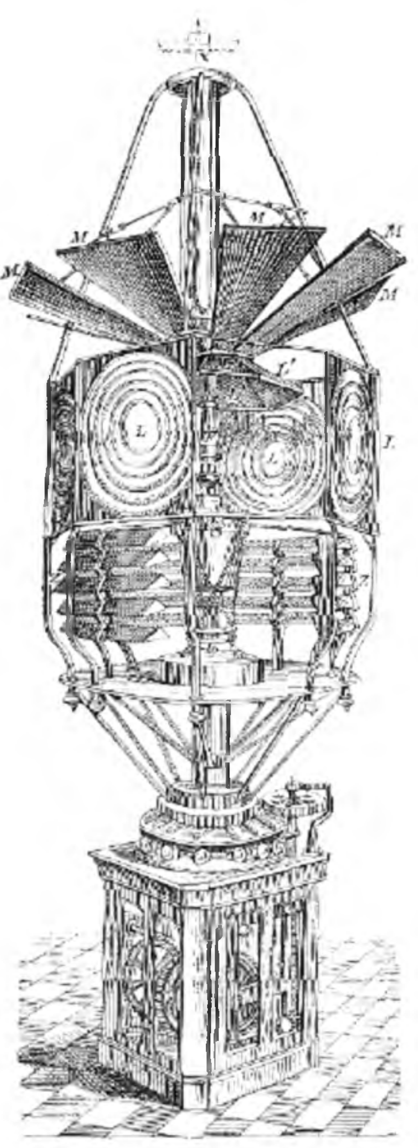
387. Ходъ лучей въ маячномъ фонарѣ.

Френелевская система примѣнена, между прочимъ, на одномъ изъ лучшихъ маяковъ, въ 63 м. высотою, на западномъ побережьи Шотландіи (New Skerryvore); фонарь этого именно маяка и представленъ на рис. 388. Въ немъ восемь чечевичныхъ системъ *L* размѣщены въ рамѣ 2 метровъ въ поперечникѣ, такимъ образомъ, чтобы лампа *F* приходилась въ фокусѣ чечевицъ, вслѣдствіе чего лучи и выходятъ параллельными пучками. На верху размѣщены зеркала *M*, а внизу находятся призмы *Z*. Внутри подставки помѣщается часовой механизмъ, поворачивающій весь аппаратъ около его оси въ 8 минутъ на полный оборотъ. Отблески, бросаемые зеркалами, могутъ быть замѣчены на разстояніи до 30 морскихъ миль.

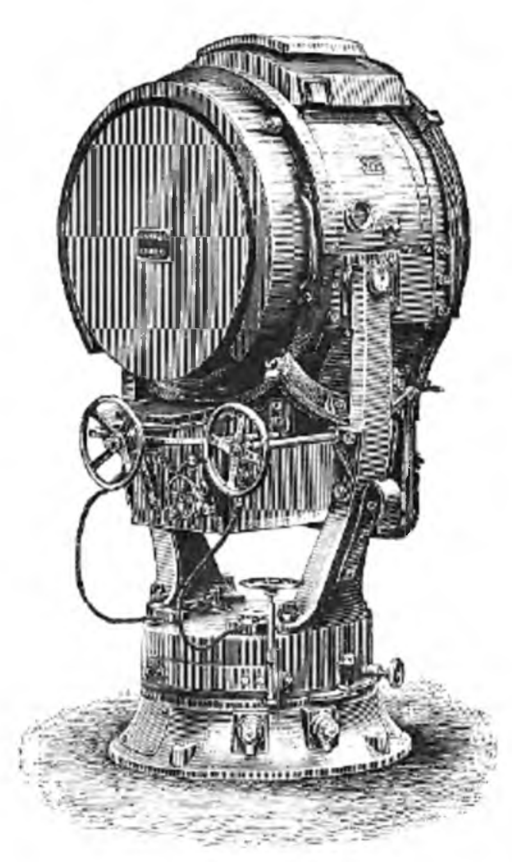
Свѣтовые прожекторы. Кромѣ системы кольцевыхъ чечевицъ Френеля для освѣщенія и свѣтовой сигнализаціи примѣняются и другія системы. Новѣйшія системы даже значительно превосходятъ систему Френеля. Первое усовершенствованіе свѣтовыхъ прожекторовъ было произведено французскимъ инженеромъ Манженомъ (Manjin), примѣнившимъ къ нимъ сферическія вогнутыя зеркала, состоявшія изъ слабыхъ выпукловогнутыхъ посеребренныхъ стеколъ. Такимъ образомъ, ему удалось почти совсѣмъ уничтожить сферическую аберрацію.

Въ дальнѣйшихъ усовершенствованіяхъ подобныхъ аппаратовъ принимали участіе Соте-Лемонье, Чиколевъ, Сименсъ и Гальске и др., а въ особенности

Шуккертъ (1886), примѣнившій къ нимъ параболическія стеклянныя зеркала. Устройство прожектора Шуккерта въ общихъ чертахъ слѣдующее: зеркало, вставленное на азбестовой подкладкѣ въ чугунную оправу, помѣщается вмѣстѣ съ лампой въ легкой желѣзной оболочкѣ. Движенія фонаря въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ могутъ быть произведены быстро или медленно, или прямо рукою или помощью электродвигателя. Горизонтальная электрическая лампа регулируется или автоматически или отъ руки. Свѣтъ отъ рефлектора для большихъ разстояній долженъ быть болѣе сосредоточенъ, чѣмъ для малыхъ разстояній. Такое сосредоточеніе и разбрасываніе лучей можетъ



388. Вращающійся маячный фонарь.



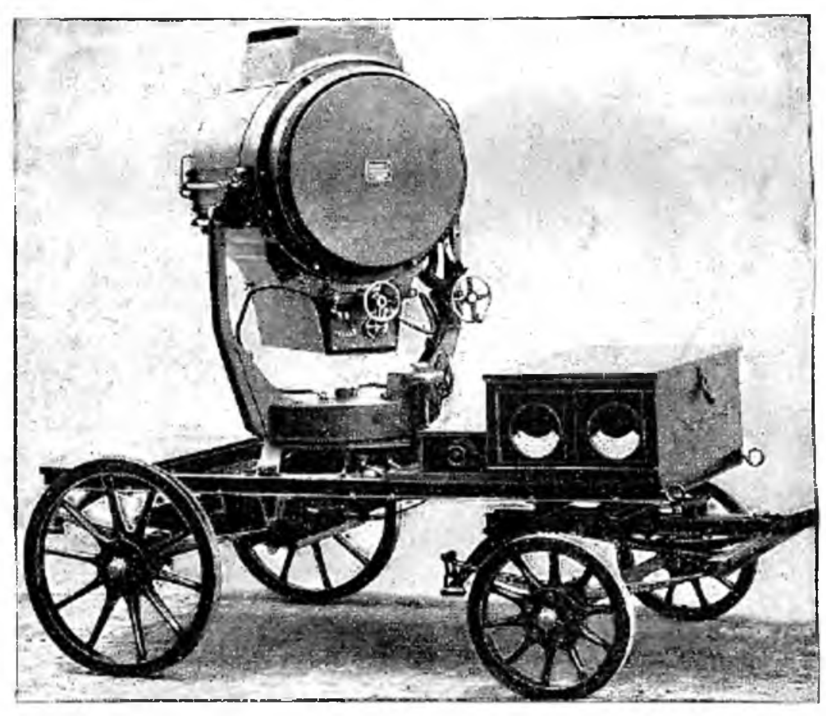
389. Малый прожекторъ.

быть произведено отчасти передвиженіемъ лампы, а главнымъ образомъ раздвиженіемъ двухъ системъ цилиндрическихъ стеколъ (чечевицъ). Для сигнализаціи въ аппаратѣ имѣется еще особое приспособленіе, въ родѣ жалюзи.

Небольшой прожекторъ электрическаго акціонернаго общества (сперва Шуккертъ и К°), изображенный на рис. 389, примѣняется, вслѣдствіе его легкости и компактности, сухопутными войсками въ гористыхъ мѣстностяхъ, а также на военныхъ морскихъ небольшихъ судахъ, на миноноскахъ. Его

стеклянное параболическое зеркало имѣетъ 40 см. въ діаметрѣ. На рис. 390 изображена повозка съ такимъ прожекторомъ. Въ большихъ же прожекторахъ, предназначенныхъ, главнымъ образомъ, для морскихъ цѣлей, зеркала въ поперечникѣ имѣютъ 90 см. Поворачиваніе ихъ производится помощью электромоторовъ. Рис. 391 представляетъ самый большой прожекторъ упомянутой фирмы съ зеркаломъ въ 150 см. въ діаметрѣ; прожекторъ обращалъ на себя общее вниманіе на всемірной выставкѣ въ 1893 г. въ Чикаго.

Изображенія предметовъ въ сферическихъ стеклахъ. Какъ вступленіе къ описанію устройства нѣкоторыхъ болѣе сложныхъ, чѣмъ до

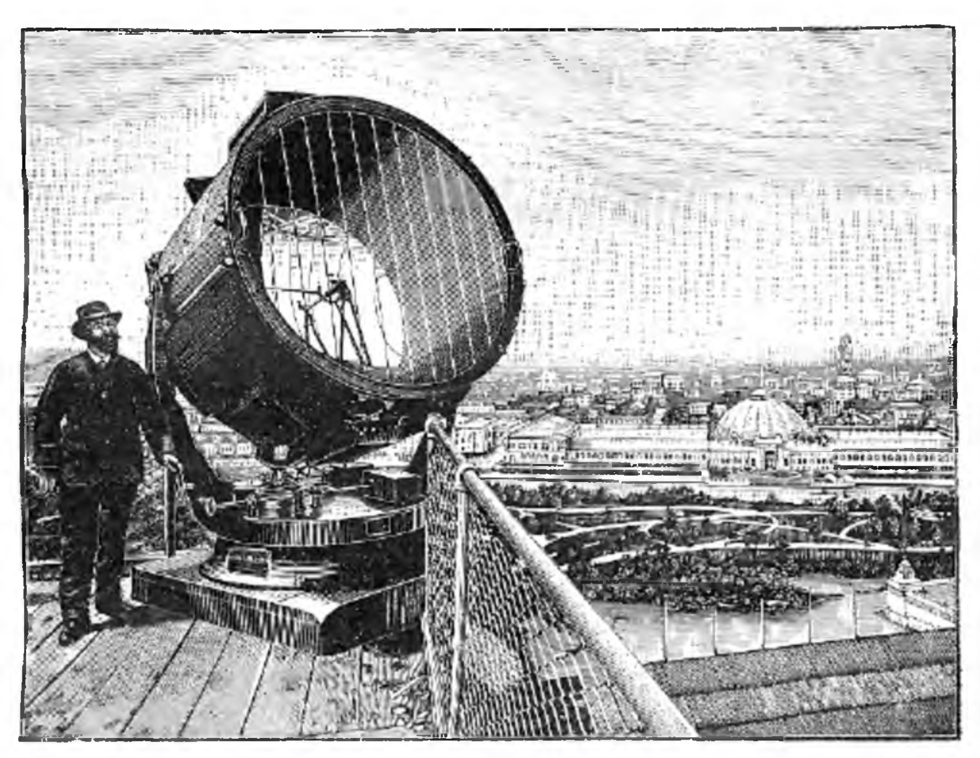


390. Повозка съ прожекторомъ.

сихъ поръ разсматривавшихся, оптическихъ приборовъ, намъ надлежитъ еще разъ обратиться къ болѣе подробному объясненію образованія изображеній помощью оптическихъ чечевицъ. Положимъ, что черезъ чечевицу L (рис. 392) проходятъ лучи отъ пламени свѣчи K; за чечевицей лучи эти соберутся, притомъ такъ, что выходящіе изъ точки a пересѣкутся въ a', лежащей на побочной оси aca'; такимъ же образомъ изображеніе точки b получится въ b'. Для другихъ точекъ, лежащихъ между a и b, получатся соотвѣтствующія изображенія между a' и b'. Такимъ путемъ образуется **дѣйствительное изображеніе**, которое можно получить на экранѣ. Оно обратное, причемъ величина его мѣняется при измѣненіи разстоянія тѣла отъ чечевицы. Если свѣча помѣщена на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ стекла, то и изображеніе ея будетъ такой же величины и на такомъ же разстояніи по другую сторону отъ чечевицы. Когда свѣча находится между простымъ и двойнымъ фокусными разстояніями, тогда получается обратное и увеличенное изображеніе ея за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ. Когда же свѣча будетъ поставлена дальше двойного фокуснаго разстоянія, тогда изображеніе, обратное

и уменьшенное, будетъ находиться по другую сторону между простымъ и двойнымъ фокусными разстояніями.

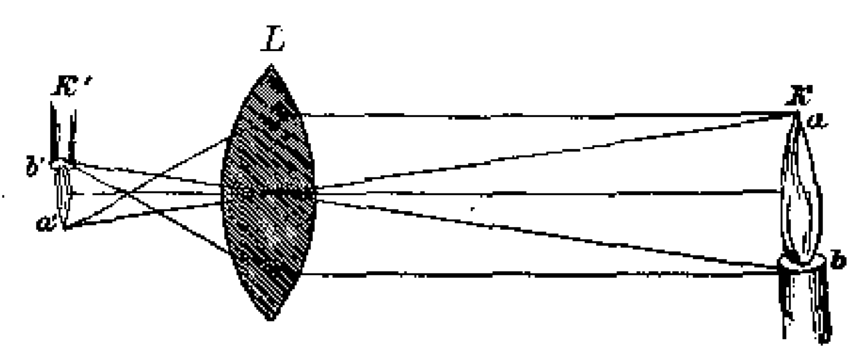
Кромѣ такихъ дѣйствительныхъ изображеній выпуклыя стекла, подобно вогнутымъ зеркаламъ, могутъ дать и мнимыя изображенія. Они образуются въ томъ случаѣ, когда предметъ помѣщается между фокусомъ и стекломъ; при этомъ по другую сторону чечевицы лучи расходятся и, попадая въ глазъ, даютъ прямое и увеличенное мнимое изображеніе (рис. 394). Увеличеніемъ чечевицы называется отношеніе величины изображенія къ величинѣ самого предмета. Посредствомъ вогнутыхъ или разсѣивательныхъ чечевицъ получаются только одни уменьшенныя мнимыя изображенія.



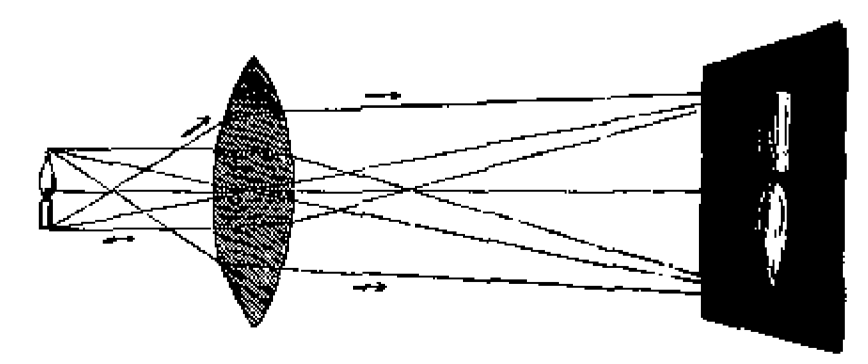
391. Прожекторъ Шуккерта и К° на всемірной выставкѣ въ Чикаго 1893 г.

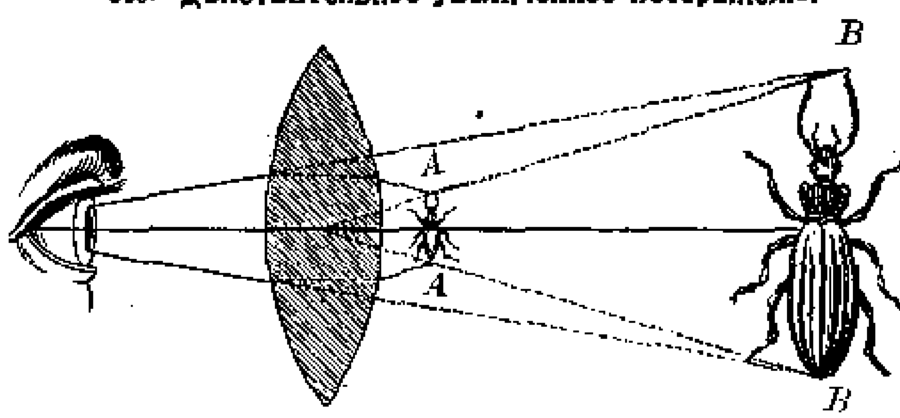
Сферическая аберрація. Предполагавшееся въ предыдущемъ изложеніи собираніе лучей сферическими стеклами въ одну точку на самомъ дѣлѣ не вполнѣ выполняется; въ дѣйствительности, чѣмъ больщій уголъ составляютъ лучи съ осью, тѣмъ ближе къ чечевицѣ лежитъ ихъ точка соединенія. Одной точкѣ, изъ которой лучи исходятъ, по другую сторону стекла соотвѣтствуетъ слѣдовательно не одна точка соединенія, а цѣлая, хотя и малая, зона; и такъ какъ это относится ко всѣмъ точкамъ, то въ сильно выпуклыхъ чечевицахъ края изображенія получаются тѣмъ менѣе рѣзкими, чѣмъ больше и ближе предметъ. Это явленіе и носитъ названіе сферической аберраціи. Въ параболическихъ стеклахъ ея нѣтъ; но такъ какъ приготовленіе такихъ стеколъ представляетъ значительное затрудненіе, то, примѣняя сферическія стекла, стараются уменьшить ихъ аберрацію тѣмъ, что пользуются въ нихъ преимущественно центральными лучами, составляющими небольшіе углы съ осью.

Ахроматическія стекла. Проходящіе черезъ сферическое стекло бѣлые или вообще сложные свѣтовые лучи разлагаются въ немъ, какъ и въ призмѣ, на простые, цвѣтные лучи. Въ самомъ дѣлѣ, если напр. пропустить черезъ чечевицу пучокъ солнечныхъ лучей, выходящихъ изъ небольшого отверстія въ ставнѣ, то на противоположной стѣнѣ комнаты получится изображеніе солнца не сплошь бѣлое, а окруженное слабой цвѣтной каймой. Это происходитъ отъ того, что фокусъ фіолетовыхъ лучей лежитъ ближе къ чечевицѣ, чѣмъ фокусъ красныхъ лучей. Въ этомъ и заключается такъ называемая хроматическая аберрація чечевицы. Въ оптическихъ приборахъ, въ которыхъ требуется полная отчетливость изображеній, какъ въ телескопахъ, микроскопахъ, фотографическихъ аппаратахъ, хроматическая аберрація, посредствомъ надлежащей комбинаціи стеколъ, должна быть по возможности устранена. Въ такихъ приборахъ примѣняются ахроматическія чечевицы. Ньютонъ сомнѣвался въ возможности устроить такія чечевицы, предполагая, что съ уничтоженіемъ свѣторазсѣивающаго дѣйствія чечевицъ исчезнетъ и ихъ отклоняющая способность. Великій математикъ Эйлеръ, утверждавшій противное, вызвалъ поэтому между учеными очень оживленный споръ, который закончился только тогда, когда Клингенстіерну удалось неопровержимо доказать ошибочность предположенія Ньютона. Удалось показать на самомъ дѣлѣ, что существуютъ такія тѣла, которыя при маломъ отклоненіи лучей даютъ такой же длины спектръ, какой получается при помощи другихъ тѣлъ, значительно отклоняющихъ лучи. Слѣдовательно величина свѣторазсѣянія, обусловливающая собою длину спектра, не пропорціональна величинѣ отклоненія. Этотъ опытъ и послужилъ основаніемъ для устройства системъ ахроматическихъ стеколъ, способствовавшихъ значительному усовершенствованію оптическихъ приборовъ.



392. Дѣйствительное уменьшенное изображеніе.


393. Дѣйствительное увеличенное изображеніе.



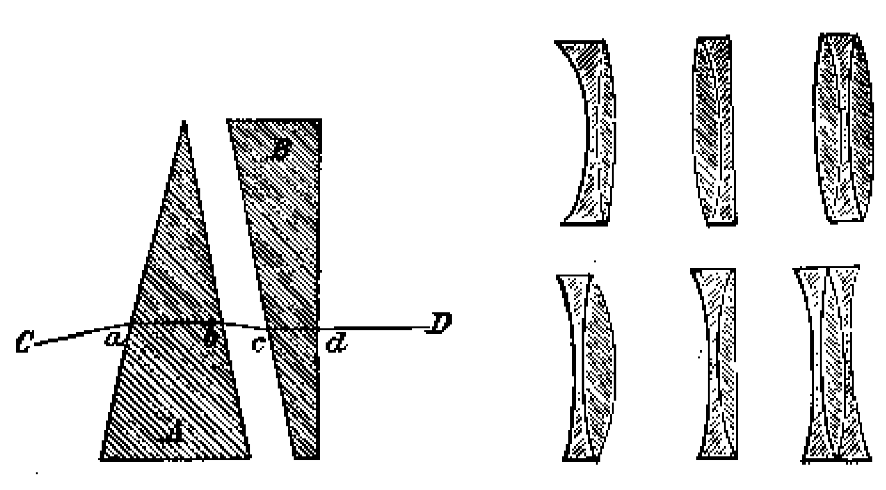
394. Лупа. Мнимое изображеніе.

Имѣется указаніе, что первыя ахроматическія чечевицы приготовлены были въ 1729 г., а ахроматическіе телескопы въ 1733 г. однимъ дворяниномъ въ графствѣ Эссексъ, Честеромъ Моромъ Голлемъ (Hall), занимавшимся въ Лондонѣ физическими опытами для собственнаго удовольствія и не сообщившимъ никому о своемъ изобрѣтеніи. Полагаютъ, что извѣстный оптикъ Доллондъ, имѣвшій случай видѣть у шлифовщиковъ части приборовъ Голля, догадался о ихъ назначеніи и воспользовался открытіемъ въ 1759 г. для устройства телескоповъ и микроскоповъ съ большими увеличеніями и съ

отчетливыми, ясными изображеніями. Есть ли въ приведенномъ разсказѣ доля истины или нѣтъ, во всякомъ случаѣ Доллонду принадлежитъ большая заслуга значительнаго усовершенствованія оптическихъ инструментовъ.

Возьмемъ двѣ призмы *A* и *B* (рис. 395), первую изъ кронгласа съ преломляющимъ угломъ въ 20° и съ показателемъ преломленія 1,53 для линіи *D*, а вторую изъ флинтгласа съ преломляющимъ угломъ въ 12° и съ показателемъ преломленія 1,635.

Изслѣдуя эти призмы, мы можемъ обнаружить, что первая изъ нихъ, кронгласовая, отклоняетъ спектръ примѣрно въ 13° 14′, тогда какъ флинтгласовая всего на 7°34′; но, несмотря на это различіе въ ихъ преломляющей способности, свѣторазсѣяніе онѣ даютъ одинаковое; длина обоихъ спектровъ одинаковая. Если мы поставимъ обѣ призмы такимъ образомъ, какъ показано на рис. 395, т.-е. чтобы ихъ преломляющіе углы были обращены въ обратныя стороны, то лучи образованнаго призмой *A* спектра отклонятся призмою *B* въ обратную сторону, и такъ какъ свѣторазсѣяніе обѣихъ призмъ одно и то же, то фіолетовые лучи соединятся съ красными и другими лучами и дадутъ снова бѣлый свѣтъ. Итакъ, свѣторазсѣяніе уничтожено, а отклоненіе все-таки осталось, именно равное 13°40′ — 7°34′ = 6°6′, которымъ и можно воспользоваться для устройства и ахроматическихъ чечевицъ. Легко видѣть, что при помощи чечевицъ можно достигнуть такого же результата, какъ и помощью призмъ, если къ кронгласовой выпуклой чечевицѣ присоединить соотвѣтствующую флинтгласовую вогнутую чечевицу. Доллондъ и въ особенности Фраунгоферъ систематически выработали способъ приготовленія ахроматическихъ чечевицъ и достигли въ немъ замѣчательнаго техническаго совершенства. Полной ахроматизаціи однако нельзя достигнуть посредствомъ кронгласовой и флинтгласовой призмъ, такъ какъ спектры ихъ, хотя и одинаковой длины, но не тождественны. Въ новѣйшей **апохроматической системѣ** Аббе, въ которой кронгласъ замѣненъ флуоритомъ (плавиковымъ шпатомъ), какъ хроматическая, такъ и сферическая аберраціи доведены до минимума. Отношеніе между радіусами кривизны вычисляется при помощи преломляемости обоихъ сортовъ стекла. Обѣ чечевицы системы склеиваются между собою канадскимъ бальзамомъ, вполнѣ прозрачнымъ. На рис. 396 показаны ахроматическія чечевицы различнаго вида, примѣнимыя въ разныхъ оптическихъ приборахъ.



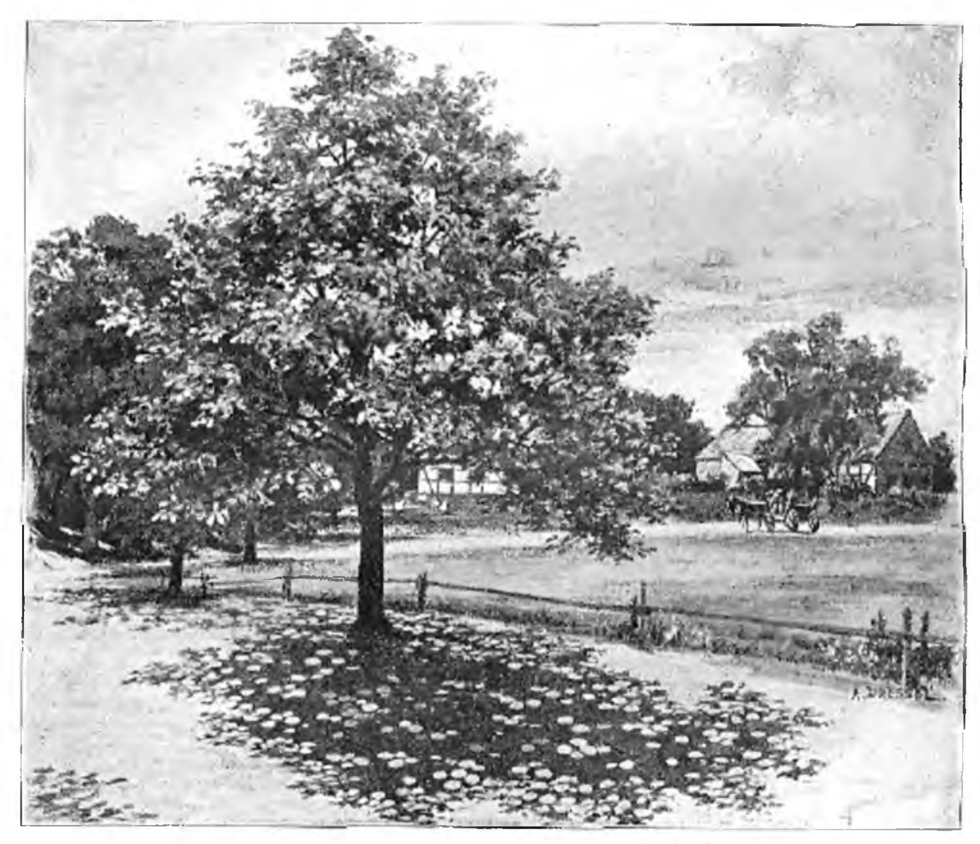
395. Ахроматическія призмы.

396. Ахроматическія чечевицы.

Шлифовка сферическихъ стеколъ. Въ короткихъ словахъ мы изложимъ теперь практическій способъ изготовленія оптическихъ чечевицъ. Искусство шлифовки чечевицъ процвѣтало когда-то преимущественно въ Голландіи. О времени, когда возникло впервые это искусство, ничего опредѣленнаго неизвѣстно. Можно съ сомнѣніемъ отнестись къ указанію на то, что въ развалинахъ Ниневіи было найдено античное оптическое стекло, плоско-выпуклая чечевица съ фокуснымъ разстояніемъ въ 11,24 см.; ничто другое не давало повода предполагать, что древніе ассирійцы обладали искусствомъ шлифовки стеколъ. Но что древніе римляне умѣли изготовлять чечевицы изъ горнаго хрусталя и стекла — это несомнѣнно.

При приготовленіи оптическихъ стеколъ они сперва выливаются въ над-

лежащей формѣ и затѣмъ уже шлифуются; тонкія же, напримѣръ очковыя, стекла просто вырѣзаются предварительно изъ стеклянныхъ пластинъ. Самая же шлифовка производится при помощи особыхъ латунныхъ чашекъ: для выпуклыхъ чечевицъ пользуются углубленіемъ, а для вогнутыхъ чечевицъ— ихъ наружною, выступающею поверхностью. Для каждой кривизны требуется особая чашка. Эти чашки приготовляются по заранѣе устроеннымъ двумъ шаблонамъ, вырѣзаннымъ изъ латуннаго листа, и изъ которыхъ у одного кривизна обращена внутрь, а у другого наружу, соотвѣтственно требуемой кривизнѣ чечевицы. По этимъ моделямъ вытачиваются затѣмъ на точиль-

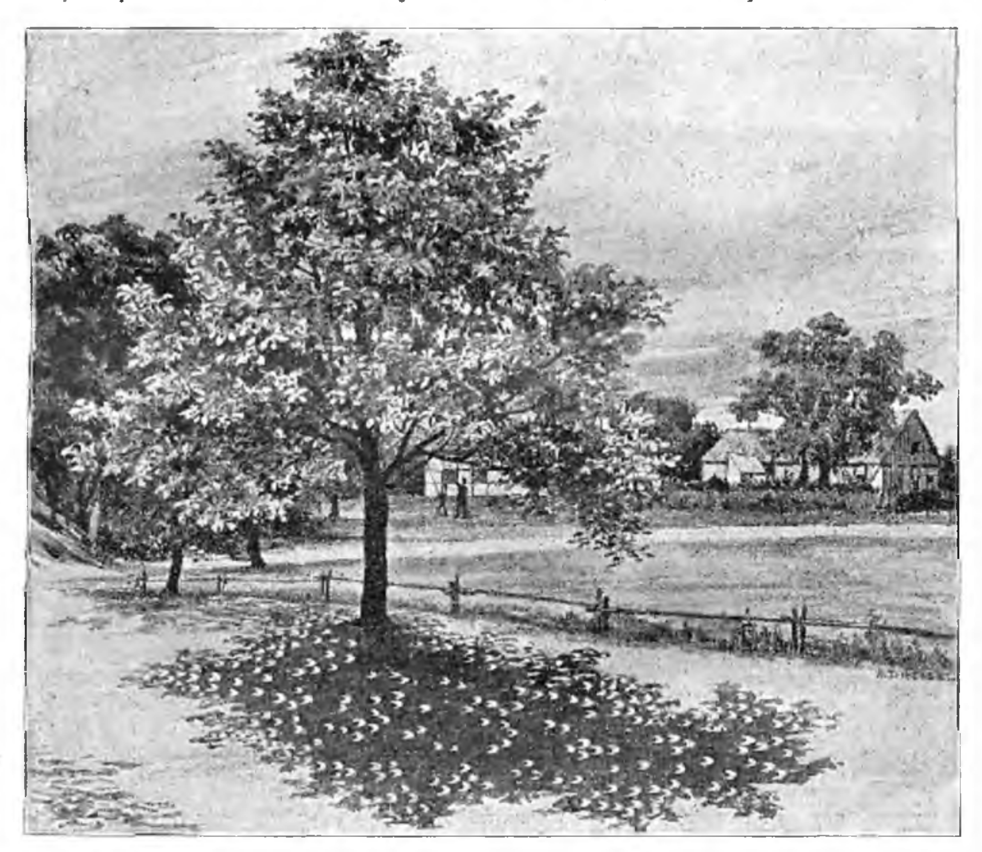


397. Изображеніе солнца при полномъ его сіяніи.

номъ станкѣ двѣ чашки, вогнутая и выпуклая; послѣ же этого, чтобы окончательно выровнять и сгладить обѣ поверхности, ихъ шлифуютъ одна о другую при посредствѣ мелкаго наждака. Та чашка, которая предназначена для работы, закрѣпляется въ горизонтальномъ положеніи на шлифовальномъ станкѣ и приводится въ быстрое вращеніе. Кусокъ шлифуемаго стекла, прикрѣпленный къ рукояткѣ, прижимается слегка къ вращающейся чашкѣ, смазываемой смѣсью наждака съ водою. Такимъ образомъ стекло принимаетъ постепенно кривизну чашки. Чѣмъ дальше продолжается работа, тѣмъ мельче долженъ быть взятъ наждакъ. Когда съ одной стороны чечевица надлежащимъ образомъ отшлифована, тогда переставляется ручка и приступаютъ къ обработкѣ другой стороны. На той же чашкѣ послѣ того чечевица и полируется; для этой цѣли вмѣсто наждака поверхность чашки покрывается тонкимъ слоемъ смолы или канифоли, которому придаютъ надле-

жащую форму надавливаніемъ на него соотвѣтствующею поверхностью второй чашки. Смола покрывается крокусомъ, и работа производится такимъ же образомъ, какъ и при шлифованіи. Понятно, что при шлифованіи должна постепенно стираться и самая чашка, вслѣдствіе чего каждыя послѣдующія чечевицы будутъ все больше и больше отличаться отъ предыдущихъ. Чтобы избѣжать этого по возможности, обѣ противоположныя чашки перешлифовываются одна въ другой время отъ времени.

Для подробнаго описанія современныхъ оптическихъ мастерскихъ, какъ напримѣръ оптическаго института въ Мюнхенѣ, или мастерской, основанной



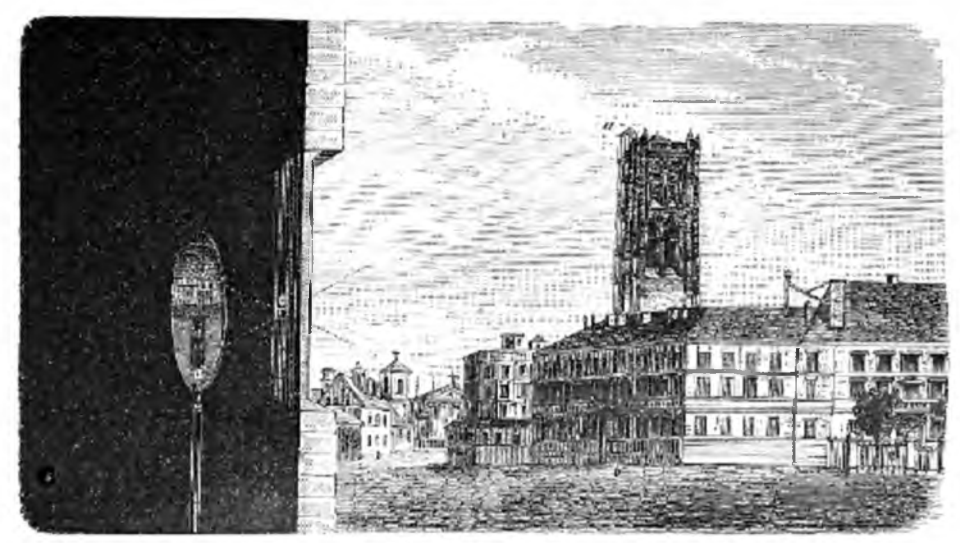
339. Изображенія солнца при частномъ его затменіи.

Уцшнейдеромъ и Рейхенбахомъ, и которая при Фраунгоферѣ, а затѣмъ при Штейнгейлѣ и Мерцѣ, изготовила множество всемірно извѣстныхъ инструментовъ, или новѣйшей мастерской Цейса и технической лабораторіи братьевъ Шотъ въ Іенѣ, потребовалась бы особая книга. Мы находимся поэтому въ необходимости только упомянуть о нихъ и перейти къ разсмотрѣнію главнѣйшихъ оптическихъ снарядовъ.

Камера обскура. Всѣмъ вѣроятно приходилось наблюдать, сидя въ солнечный день подъ деревомъ, что лучи, проходящіе сквозь листву, даютъ на пескѣ цѣлый рядъ свѣтлыхъ круглыхъ пятенъ одинаковой величины, несмотря на то, что они прошли черезъ самыя разнообразныя неправильныя отверстія между листьями. Эти круглыя пятна не что иное, какъ изображенія солнца. Въ этомъ можно убѣдиться лучше всего во время солнечнаго затменія, когда солнце намъ представляется не круглымъ дискомъ, а въ видѣ

серпа. Тогда и свѣтлыя пятна на пескѣ получаются такой же формы, какъ это представлено на рис. 397 и 398.

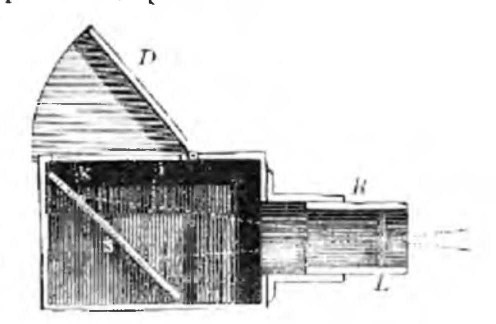
Еще болѣе поразителенъ слѣдующій легко выполнимый опытъ. Если въ закрытыхъ оконныхъ ставняхъ сдѣлать небольшое отверстіе, примѣрно въ 2,5 см. въ поперечникѣ, и на противоположной стѣнѣ повѣсить простыню или большой листъ бумаги, то на ней получится изображеніе окрестной



399. Камера обскура.

мѣстности и предметовъ въ естественной окраскѣ, на ней ясно будутъ видны дома, деревья, движущіяся облака, люди, но все обратно, вверхъ ногами. Чѣмъ меньше будетъ отверстіе, тѣмъ отчетливѣе будутъ очертанія изображеній, но зато и слабѣе освѣщеніе всей картины.

Для объясненія этого явленія примемъ во вниманіе какой-нибудь одинъ предметъ, напримѣръ строеніе; тогда при помощи рис. 399 намъ станетъ понятно, почему крыша *a* вырисовывается внизу, а основаніе *b* дома наверху. При этомъ очевидно, что чѣмъ ближе отъ отверстія будетъ находиться экранъ, тѣмъ меньше получится на немъ изображеніе; при удаленіи же экрана изображеніе увеличится, но вмѣстѣ съ тѣмъ и освѣщено оно будетъ слабѣе.



400. Переносная камера обскура.

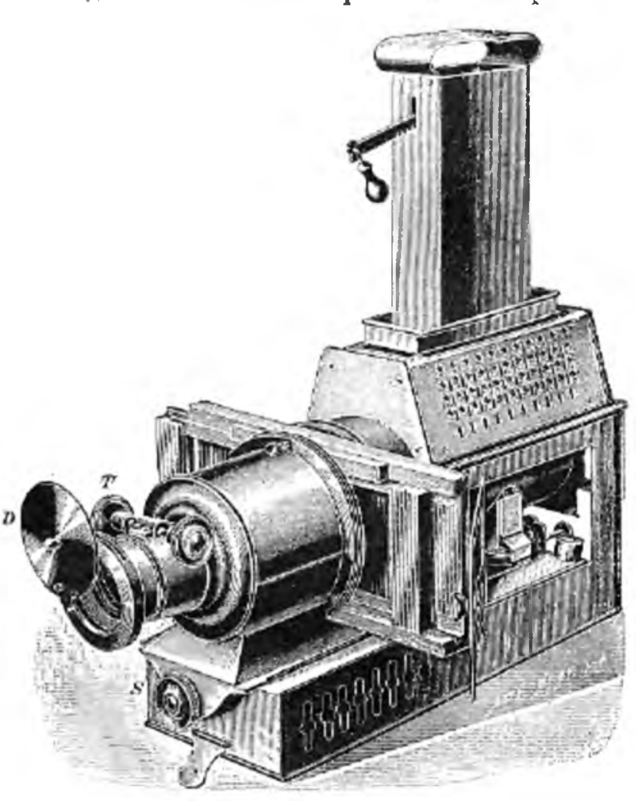
Мы имѣемъ уже въ этомъ примѣрѣ камеру обскуру; но собственно приборъ, извѣстный подъ такимъ названіемъ, устраивается сложнѣе: въ немъ имѣется зеркало и чечевица, чтобы изображенія получались прямыя и рѣзче очерченныя.

Простого устройства переносная камера представлена на рис. 400. Она состоитъ изъ четыреугольнаго ящика, зачерненнаго внутри. Посредствомъ чечевицы *L*, вставленной въ раздвижную трубку *R*, получается внутри ящика дѣйствительное изображеніе внѣшнихъ предметовъ; изображеніе это отбрасывается зеркаломъ *S* на матовое стекло или прозрачную бумагу *ki*; крышка *D* защищаетъ рисунокъ отъ посторонняго свѣта. Раньше

такой приборъ служилъ для срисовыванія ландшафтовъ, теперь же это одинъ изъ самыхъ распространенныхъ оптическихъ аппаратовъ, безъ котораго не можетъ обойтись ни одинъ фотографъ.

Изобрѣтена камера обскура въ серединѣ 16 ст. (1558 г.) неаполитанцомъ Порта, но главнѣйшія усовершенствованія ея относятся только къ последнему времени. Въ фотографическихъ аппаратахъ примѣняется теперь не одна простая чечевица, а цѣлая система чечевицъ, съ цѣлью устранить какъ сферическую, такъ и хроматическую аберрацію.

Волшебный фонарь (Laterna magica). Приборъ этотъ извѣстенъ уже очень давно и по всей вѣроятности изобрѣтенъ іезуитомъ Кирхеромъ въ 1640 году; нѣкоторые утверждаютъ впрочемъ, что такимъ приспособленіемъ пользовался уже Рожеръ Бэконъ за четыреста лѣтъ раньше. Теперь имъ пользуются довольно часто для воспроизведенія такъ называемыхъ туманныхъ картинъ (dissolving views), а также для проектированія въ увеличенномъ видѣ микроскопическихъ предметовъ. Въ послѣднемъ случаѣ, смотря по источнику примѣняемаго въ немъ свѣта, разсматриваемый аппаратъ носитъ названія скіоптикона или солнечнаго микроскопа. По внѣшнему своему виду волшебный фонарь представляетъ ящикъ съ выступающею сбоку его трубкою. Внутри же него помѣщается свѣтло горящая лампа съ вогнутымъ зеркаломъ, отражающимъ лучи параллельнымъ пучкомъ. Въ трубкѣ заключаются двѣ выпуклыя чечевицы, одна плоско-выпуклая, а другая двояко-выпуклая; между задней чечевицей и лампой находится рамка для вкладыванія стеклянныхъ пластинокъ, на которыхъ прозрачными красками нарисованы картины. Проникающіе черезъ картину свѣтовые лучи преломляются чечевицами и на экранѣ даютъ увеличенное и обратное изображеніе картины. Поэтому картины должно вставлять въ фонарь перевернутыми. Изображенія можно проектировать между прочимъ на густой дымъ.

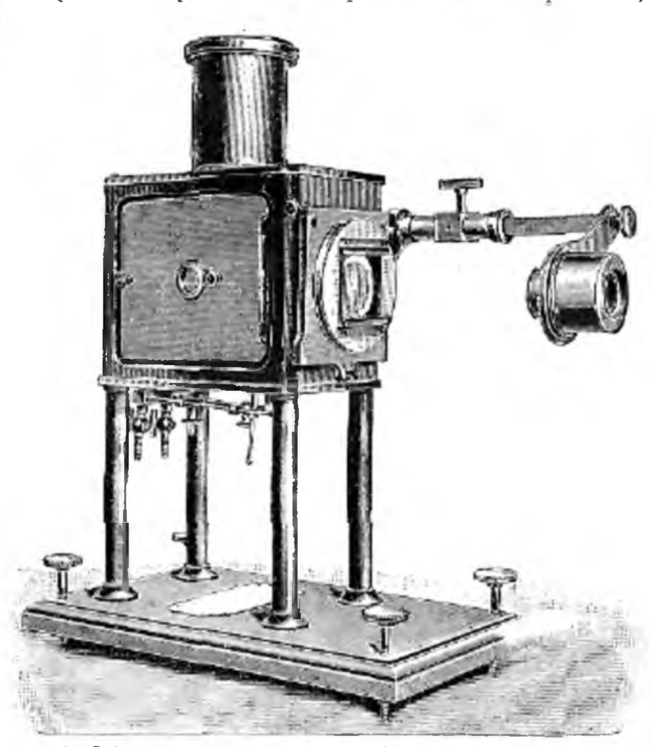


401. Простой скіоптиконъ.

На рис. 401 представленъ волшебный фонарь, въ который можетъ быть вставлена или керосиновая, или ацетиленовая, или друммондова известковая лампа. Чтобы удобнѣе было вставлять рамку съ картиной, вся трубки съ объективомъ можно отодвигать при помощи винта *S*. Двойной объективъ для точной установки можно раздвигать помощью зубчатки *T*. На концѣ трубы имѣется прорѣзъ для вкладыванія цвѣтныхъ стеколъ и крышка *D*.

Подобнымъ же образомъ устроенъ и скіоптиконъ, предназначенный для проектированія научныхъ приборовъ и опытовъ (рис. 402).

Извѣстный физикъ и аэронавтъ Робертсонъ въ началѣ XIX ст. давалъ представленія, на которыхъ онъ показывалъ явленія духовъ или привидѣній, и которыя тогда удивляли весь міръ. Долгое время никто не могъ догадаться, какимъ образомъ воспроизводились эти явленія, пока тайна не была обнаружена посредствомъ измѣны. Оказалось, что удивительныя явленія вызывались посредствомъ волшебнаго фонаря, называвшагося Робертсономъ фантаскопомъ, и нѣкоторыхъ простыхъ механическихъ и театральныхъ приспособленій. Эффекты кажущагося удаленія и приближенія изображенія, получавшагося на рѣдкой, прозрачной матеріи (муслинъ), достигались посредствомъ приближенія и удаленія самого фонаря, измѣненіемъ освѣщенія и раздвиганіемъ объективовъ. Для усиленія впечатлѣнія примѣнялась подходящая музыка, производился искусственный громъ и вѣтеръ.

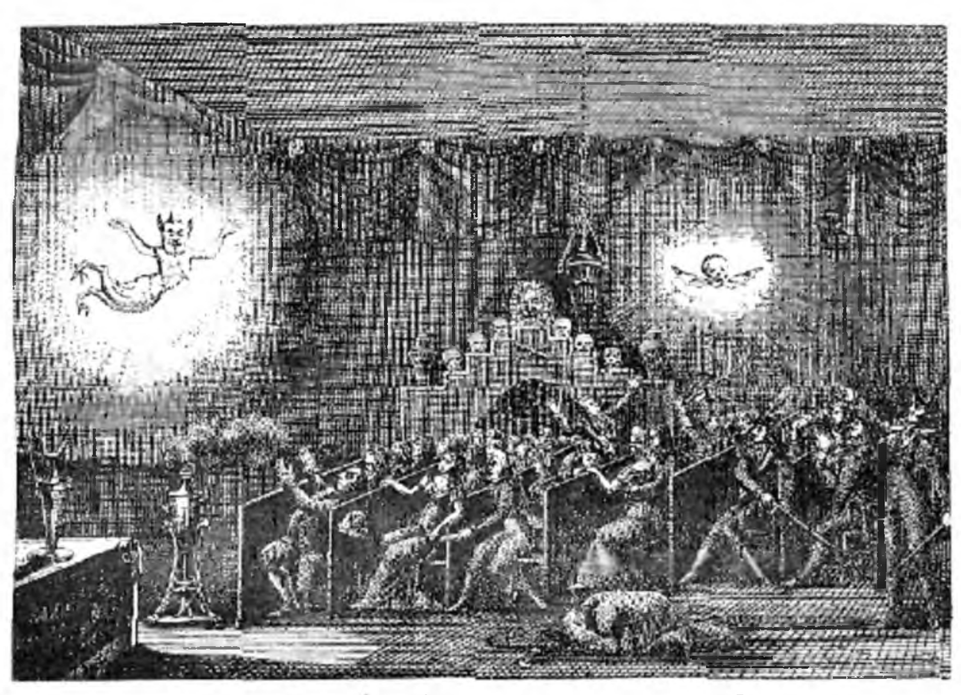


402. Скіоптиконъ для проектированія лекціонныхъ опытовъ.

Волшебный фонарь оказалъ огромную услугу жителямъ Парижа во время послѣдней осады города; при помощи него оказалось возможнымъ отчасти поддерживать сношенія и получать свѣдѣнія изъ провинцій черезъ „желѣзный поясъ", окружавшій тогда столицу. Корреспонденція совершалась именно посредствомъ возвращавшихся въ Парижъ почтовыхъ голубей, откуда они предварительно вывозились на воздушныхъ шарахъ. Такимъ образомъ передавались въ городъ содержанія писемъ, денегъ и даже цѣлыхъ газетныхъ листовъ, съ которыхъ снимались значительно уменьшенныя копіи при помощи фотографическихъ аппаратовъ; такія копіи и доставлялись прилетавшими назадъ голубями. Въ Парижѣ эти микроскопическія корреспонденціи снова увеличивались фотографическимъ же путемъ и проектировались затѣмъ помощью волшебнаго фонаря на стѣну, съ которой онѣ прочитывались и переписывались.

Туманныя картины. Волшебные фонари примѣняются между прочимъ для воспроизведенія такъ называемыхъ туманныхъ картинъ. Для этой цѣли берется двойной скіоптиконъ, изображенный на рис. 404. Онъ состоитъ изъ двухъ проекціонныхъ фонарей, поставленныхъ подъ угломъ другъ къ другу такимъ образомъ, чтобы образуемые ими свѣтлые круги на экранѣ покрывали одинъ другого. При нихъ имѣются приспособленія (особыя діафрагмы), помощью которыхъ можно постепенно ослаблять свѣтъ

одного фонаря и въ то же время усиливать свѣтъ другого. Такимъ образомъ можно постепенно и незамѣтно смѣнить напр. лѣтній видъ ландшафта на зимній. На такой картинѣ можно, между прочимъ, изобразить падающій

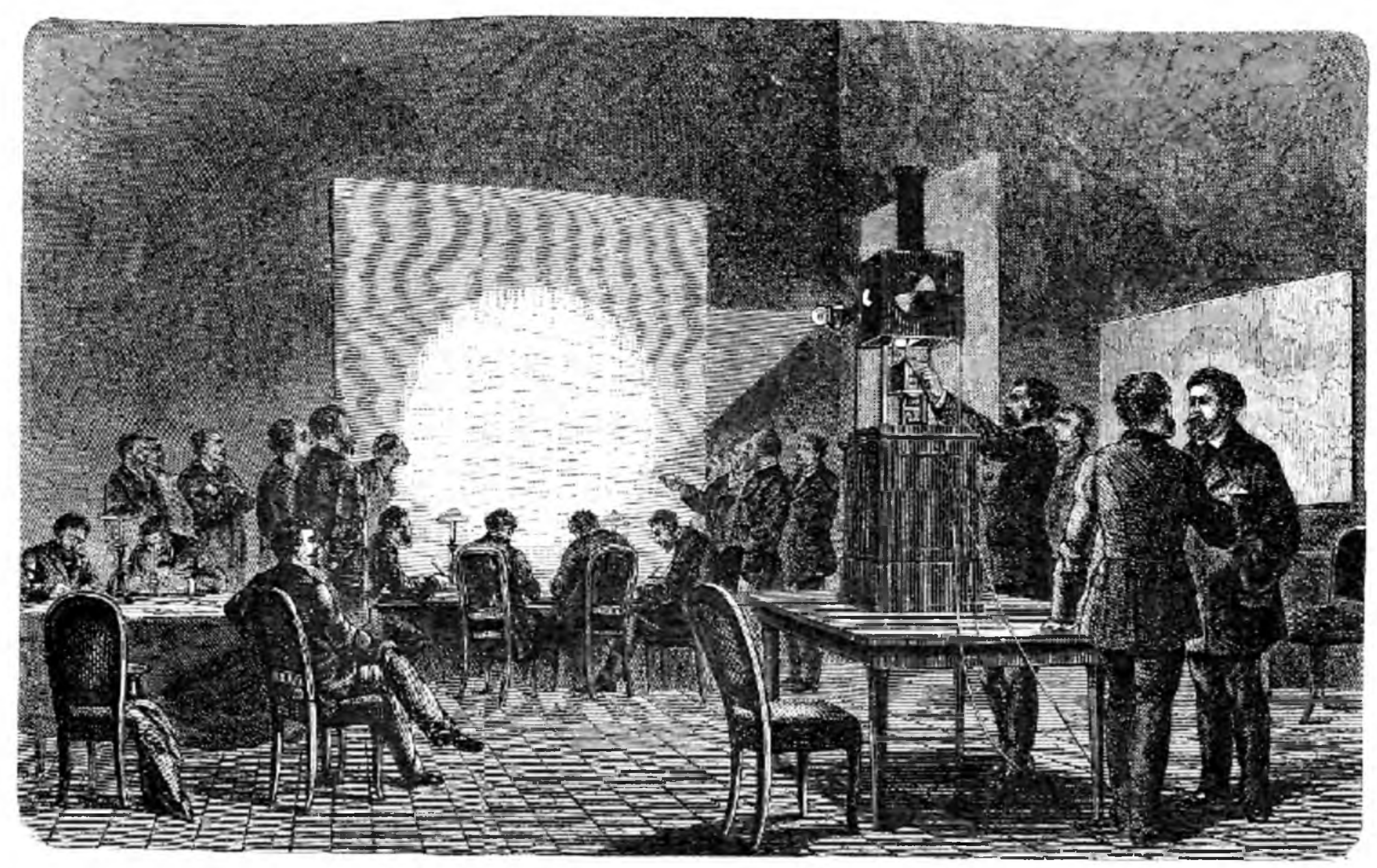


403. Представленіе съ фантаскопомъ Робертсона въ 1797 г.

снѣгъ; для этого нужно только передъ третьимъ волшебнымъ фонаремъ передвигать снизу вверхъ помощью рукоятки длинную полосу бумаги, проткнутую во многихъ мѣстахъ иглою.

404. Двойной скіоптиконъ.

Проекціонная камера для непрозрачныхъ картинъ и предметовъ (Wandercamera). Гамбургскій оптикъ Крюсъ сдѣлалъ въ волшебномъ фонарѣ значительное усовершенствованіе, приспособивъ его къ проектированію непрозрачныхъ предметовъ, какъ напр. рисунковъ въ книгѣ, медалей, цвѣтовъ, циферблата часовъ и т. п. Предметы эти въ темномъ ящикѣ ярко освѣщаются сильной лампой и вогнутымъ зеркаломъ; отраженные отъ нихъ лучи проходятъ черезъ чечевицу и даютъ на экранѣ ихъ увеличенныя изображенія. Необходимое условіе для ясности изображеній — это сильный источникъ свѣта (электрическая дуговая лампа), такъ какъ здѣсь играютъ роль только отраженные лучи.

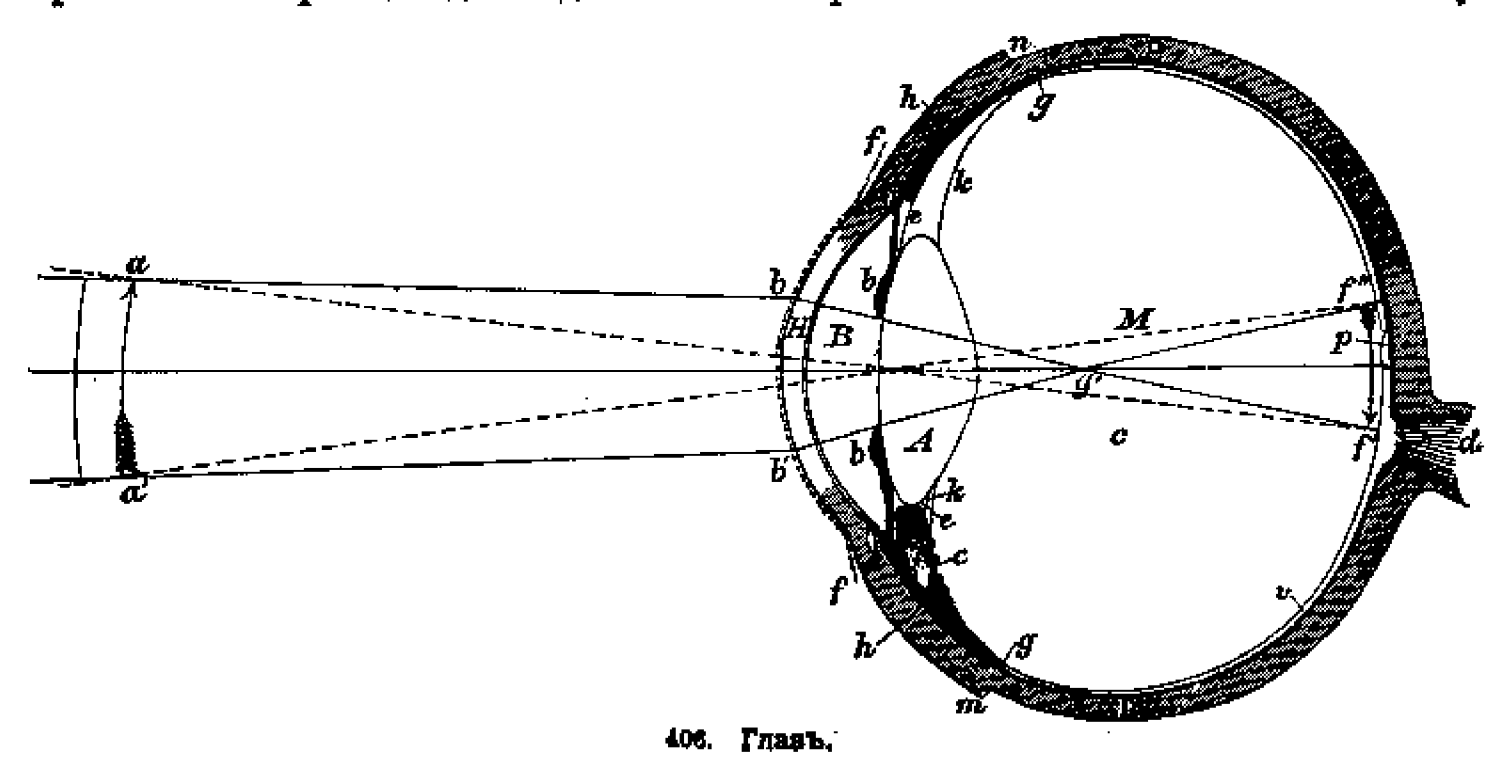


166. Воспроизведенiе фотографическихъ депошъ посредствомъ волшебнаго фонаря во время осады Парижа.

Глазъ. Панорама, хроматропъ и стереоскопъ.

Глазъ, какъ оптическій аппаратъ. Устройство его. Нативистическая и эмпиристическая теоріи зрѣнія. Уголъ зрѣнія. Перспектива. Вспомогательныя средства для перспективнаго рисованія. Панорама и діорама. Скорость и продолжительность свѣтового впечатлѣнія. Хроматропъ и зоотропъ. Кинематографъ. Субъективныя зрительныя явленія. Смотрѣніе двумя глазами. Стереоскопъ. Зеркальный и призматическій стереоскопъ Витстона и Брюстера. Телестереоскопъ Гельмгольца. Двойная зрительная трубка Цейса.

Глазъ намъ представляетъ очень совершенную камеру обскуру. Анатомическій разрѣзъ глаза указываетъ намъ его строеніе и составныя части. Глазное яблоко (рис. 406) покрыто большею своею частью, именно заднею, непрозрачною бѣлою оболочкой *PP* (tunica sclerotica); въ передней же части оболочка *H*, такъ называемая роговая (cornea), прозрачна. Внутренняя поверхность склеротики до соединенія ея съ роговой оболочкой выложена сосу-



406. Глазъ.

дистой оболочкой (chorioidea) *g*, состоящей главнымъ образомъ изъ мелкихъ кровеносныхъ сосудовъ и покрытой черньмъ пигментнымъ слоемъ. Пигментъ отсутствуетъ только у такъ называемыхъ альбиносовъ, людей и животныхъ, напр. кроликовъ. Продолженіе сосудистой оболочки составляетъ радужная оболочка (ирисъ) *abba*, лежащая вблизи прозрачной роговой оболочки и дающая окраску глазу (черный, голубой и т. д. глазъ). Радужная оболочка заключаетъ систему кольцеобразныхъ и лучистыхъ мускульныхъ волоконъ, посредствомъ которыхъ можетъ измѣняться величина круглаго зрачка *bb* и регулироваться, такимъ образомъ, количество входящаго въ глазъ свѣта. Входящіе въ глазъ лучи преломляются въ хрусталикѣ *A* и даютъ уменьшенное и обратное изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ или ретинѣ *pv*. Сѣтчатая оболочка состоитъ изъ развѣтвленій глазного нерва *d*, посредствомъ котораго свѣтовыя впечатлѣнія передаются мозгу.

Мѣсто входа глазного нерва черезъ сосудистую оболочку не лежитъ какъ разъ противъ зрачка на оси глаза, но немного въ сторонѣ, ближе къ другому глазу; на этомъ мѣстѣ сѣтчатой оболочки находится нечувствительное къ свѣту, такъ называемое Маріоттово слѣпое пятно. Для доказательства существованія такого слѣпого пятна служитъ рис. 407. Если закрыть лѣвый глазъ, а правымъ смотрѣть пристально на бѣлый квадратъ, приблизивъ глазъ примѣрно на разстояніе 25 см., то бѣлый кругъ исчезнетъ изъ поля зрѣнія, а крестъ мы будемъ видѣть попрежнему, потому что выходящіе изъ круга

лучи попадутъ при этомъ какъ разъ на слѣпое пятно въ глазу. Замѣчательно кромѣ того, что въ глазу имѣется мѣсто, именно желтое пятно (macula lutea), лежащее немного ниже *p*, которое обладаетъ, напротивъ, наибольшею чувствительностью къ свѣту; на это именно мѣсто приходится изображеніе, когда на предметъ направлена ось глаза.

Хрусталикъ *A* глаза, безцвѣтный и прозрачный, имѣетъ форму двояковыпуклой чечевицы; кривизна передней его поверхности, обращенной къ зрачку, меньше, чѣмъ задней. Состоитъ онъ изъ многочисленныхъ наложенныхъ другъ на друга слоевъ, преломляющая способность которыхъ снаружи уменьшается. Удерживается онъ помощью мускуловъ *h* и прилегаетъ вплотную къ радужной оболочкѣ. Внутреннее пространство *c* за хрусталикомъ заполнено прозрачной студенистой массою, такъ наз. стекловиднымъ тѣломъ (humor vitreus). Пространство же *B* между роговой оболочкой и хрусталикомъ заключаетъ въ себѣ свѣтлую, слегка соленую жидкость (humor aqueus).

Падающіе отъ предмета *aa'* на глазъ лучи преломляются главнымъ образомъ тотчасъ же при входѣ въ роговую оболочку *bb'*, такъ какъ другія



407. Маріоттово слѣпое пятно.

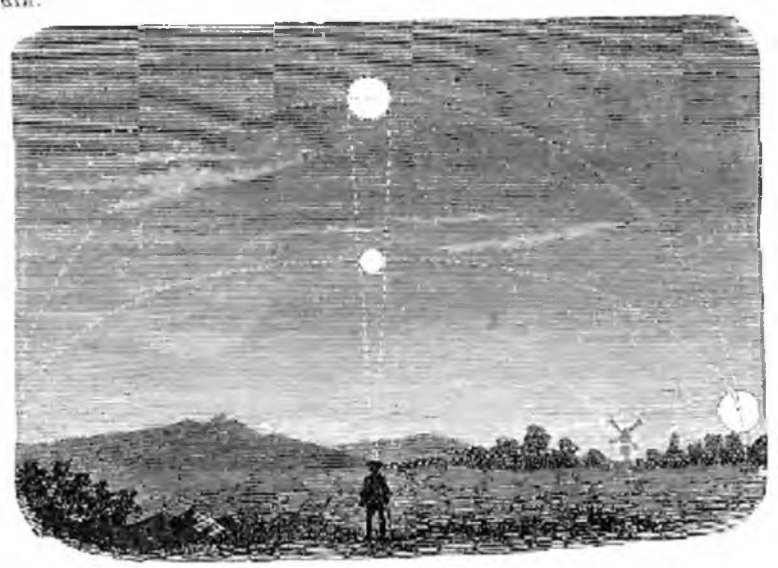
середины внутри глаза, черезъ которыя проходятъ лучи, мало между собою отличаются по отношенію къ ихъ преломляемости. Назначеніе же хрусталика только регулирующее; при посредствѣ мускуловъ онъ можетъ перемѣщаться взадъ и впередъ и мѣнять даже свою кривизну и тѣмъ обусловливать рѣзкость изображенія на сѣтчаткѣ и способствовать отчетливому видѣнію на различныхъ разстояніяхъ. Кромѣ того, вѣроятно, хрусталикъ способствуетъ ахроматизаціи изображеній. Разстояніе, на которомъ предметъ можно видѣть отчетливо, называется дальностью зрѣнія или разстояніемъ наилучшаго зрѣнія; при чтеніи оно составляетъ обыкновенно отъ 20 до 45 см. Нормальною же дальностью зрѣнія принимается разстояніе въ 25 см.

Близорукимъ глазомъ называется такой, въ которомъ при нормальномъ разстояніи въ 25 см. изображеніе получается передъ сѣтчаткой, такъ что для яснаго зрѣнія требуется разсматриваемый предметъ приблизить къ глазу; лучи, идущіе отъ отдаленныхъ предметовъ, образуютъ въ такомъ глазѣ неясныя изображенія. Преломляемость такого глаза слѣдовательно слишкомъ велика. Чтобы соотвѣтственнымъ образомъ ее уменьшить, примѣняются разсѣивающія чечевицы, двояковогнутыя очковыя стекла. У дальнозоркихъ происходитъ какъ разъ обратное; поэтому очки для нихъ должны быть взяты съ выпуклыми стеклами.

Способность хрусталика измѣнять свою кривизну соотвѣтственно разстоянію разсматриваемаго предмета называется аккомодаціей глаза. По всей вѣроятности, необходимая для этого мускульная дѣятельность должна оказывать извѣстное вліяніе на наше сужденіе о разстояніи; мы можемъ вѣдь и однимъ глазомъ различить, которая изъ двухъ точекъ находится

ближе къ глазу. Но при помощи двухъ глазъ мы все-таки гораздо точнѣе можемъ судить о разстояніи.

Нативистическая и эмпиристическая теоріи зрѣнія. На сѣтчатой оболочкѣ глаза изображеніе получается обратное и уменьшенное. Почему же мы видимъ предметы необращенными, а въ ихъ дѣйствительномъ положеніи? Этотъ вопросъ составлялъ долгое время предметъ изслѣдованій и споровъ между физіологами. Были выработаны на этотъ счетъ двѣ теоріи: нативистическая и эмпиристическая. По первой теоріи обсуждаемая способность глаза прирожденная, а не пріобрѣтенная путемъ опыта. При этомъ принималось, что душа обладаетъ непосредственнымъ представленіемъ о пространствѣ. По эмпиристической же теоріи полагается, что данная способность пріобрѣтается глазомъ только посредствомъ опыта и упражненія.



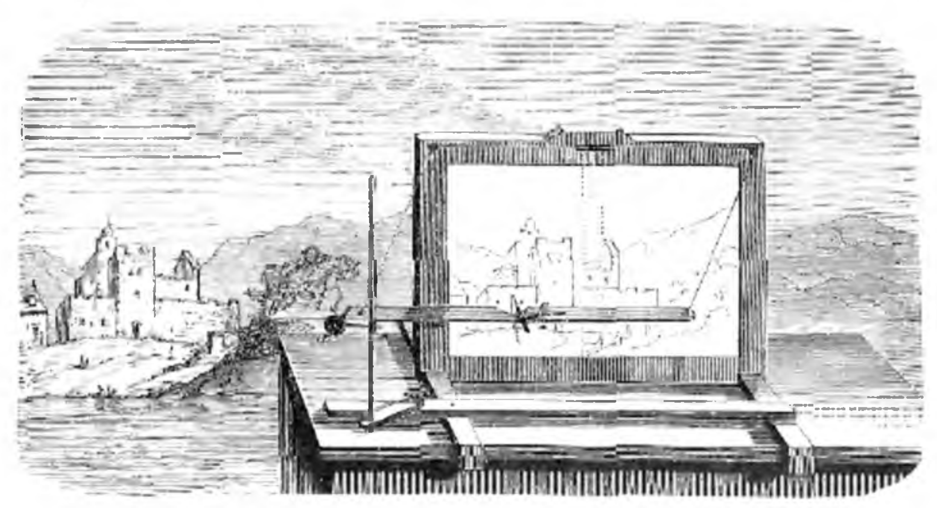
408. Кажущаяся величина луны.

О кажущейся величинѣ предмета мы судимъ по величинѣ угла зрѣнія, т.-е. по углу, составленному крайними лучами зрѣнія. Съ угломъ зрѣнія мы связываемъ также представленіе о разстояніи отъ насъ предмета, и такимъ образомъ изъ комбинаціи этихъ двухъ оцѣнокъ мы получаемъ понятіе и о дѣйствительной величинѣ предмета. Насколько значительное вліяніе оказываетъ при этомъ вторая оцѣнка, въ этомъ убѣждаетъ насъ между прочимъ то, что вблизи горизонта луна намъ кажется всегда большихъ размѣровъ, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда она находится высоко на небѣ. Этотъ удивительный обманъ зрѣнія обусловливается не различіемъ угловъ зрѣнія, которые во всѣхъ положеніяхъ луны остаются равными между собою, а тѣмъ, что небесный сводъ съ разсѣянными по немъ звѣздами кажется намъ не полушаромъ, а какъ бы сдавленнымъ сверху (вслѣдствіе, вѣроятно, различной плотности воздуха у горизонта и въ зенитѣ), почему низкостоящая луна кажется намъ болѣе удаленною отъ насъ, чѣмъ высокостоящая надъ горизонтомъ (рис. 408).

На измѣненіи угла зрѣнія съ разстояніемъ основывается перспектива, принимая во вниманіе которую, можно изобразить предметы на плоскости такъ, какъ они кажутся въ дѣйствительности. Понятіе о перспективѣ предполагаетъ уже нѣкоторое умственное развитіе. Еще отъ среднихъ вѣ-

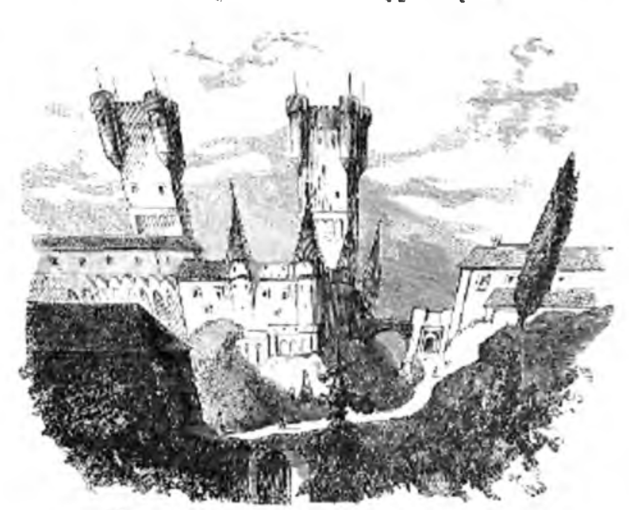
ковъ осталось много картинъ и рисунковъ, которые въ этомъ отношеніи напоминаютъ намъ китайскія изображенія.

Чтобы воспроизвести на плоскости виды, статуи и т. п. по возможности такъ, какъ они намъ представляются на самомъ дѣлѣ, можно примѣнять



408. Аппаратъ Врена для перспективныхъ снимковъ ландшафтовъ.

различныя вспомогательныя средства. Наипростѣйшимъ образомъ можно достигнуть цѣли, если между глазомъ и срисовываемымъ предметомъ помѣстить стеклянную доску и на ней прямо обрисовать контуры предмета. Но понятно, что при каждомъ смѣщеніи глаза будетъ смѣщаться и рисунокъ. Поэтому, чтобы придать глазу опредѣленное положеніе, было изобрѣтено въ серединѣ 17 ст. архитекторомъ Вреномъ приспособленіе, изображенное на рис. 409. Въ немъ имѣется неподвижно прикрѣпленная визирная трубка съ небольшимъ отверстіемъ, черезъ которое и наблюдается ландшафтъ. Рисунокъ наносится при этомъ не на стекло, а на бумагу. Для этого служитъ подвижная рамка, къ которой прикрѣплены карандашъ *c* и остріе *b*; остріе это помѣщается передъ глазомъ наблюдателя, и имъ обводится видимый контуръ ландшафта.



410. Перспективный ландшафтъ панорамы.

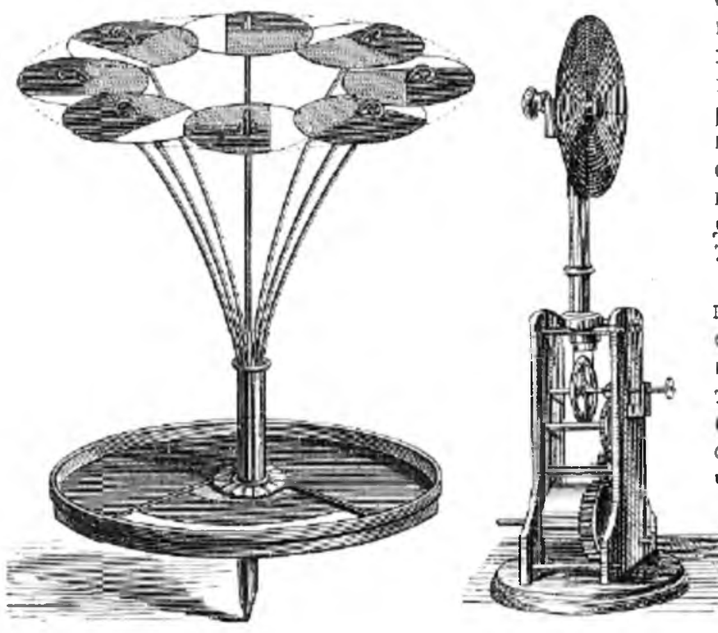
Панорама. До какой степени при нѣкоторыхъ условіяхъ перспективно-правильный рисунокъ можетъ насъ ввести въ обманъ, лучше всего показываетъ панорама. Она представляетъ собою картины, изображающія ландшафтъ или сцены въ такомъ видѣ, какъ-будто бы наблюдатель находился

среди нихъ. Поэтому полотно съ изображеніями должно быть натянуто по стѣнамъ круглаго зданія такъ, чтобы картины окружали наблюдателя со всѣхъ сторонъ. Перспектива картинъ расчитана именно относительно постоянной точки зрѣнія наблюдателя, для котораго устроено особое мѣсто въ серединѣ панорамы. Съ другого же мѣста картина показалась бы искажен-



411. Пусканіе цвѣтного волчка. 412.

ною, неправильною, какъ примѣрно на рис. 410. Даже и съ надлежащаго мѣста получается требуемое впечатлѣніе только тогда, когда устранены разныя побочныя впечатлѣнія, могущія помѣшать иллюзіи. Представленный здѣсь рисунокъ кажется неискаженнымъ, если смотрѣть на него черезъ небольшое отверстіе въ картѣ; при этомъ карта должна быть поставлена передъ рисункомъ примѣрно на разстояніи 7,5 см., и отверстіе въ ней должно находиться на высотѣ 7,5 см.



413. Цвѣтной волчокъ. 414. Цвѣтной дискъ.

Такъ какъ точныя правила перспективы установлены уже Альброхтомъ Дюреромъ (1471—1528), то очень можетъ быть, что около того же времени стали устраиваться и небольшія панорамы. Извѣстно, по крайней мѣрѣ, что Брейзигъ въ Данцигѣ показывалъ небольшую панораму въ 1763 г., въ большомъ же видѣ для публичныхъ представленій панорама устроена была впервые въ 1793 г. Въ этомъ году именно Робертъ Баркеръ въ Лондонѣ показывалъ панораму, изображавшую окрестности Портсмута и острова Уайта. Въ Германіи лондонская панорама была показана только въ 1800 г. Съ тѣхъ поръ большія панорамы перестали считаться рѣдкостью. Особенною извѣстностью пользовались панорамы художника Прево и полковника Ланглуа въ Парижѣ. Огромная

панорама Ланглуа изображала наваринскую морскую битву. Для большей иллюзіи зрители помѣщались на особомъ помостѣ, представлявшемъ палубу военнаго корабля, вполнѣ снаряженнаго, съ 74 пушками, причемъ поддерживающіе крышу зданія столбы служили вмѣстѣ съ тѣмъ мачтами этого корабля. Въ настоящее время панорамы во многихъ городахъ Европы сдѣлались постоянными учрежденіями и обычными зрѣлищами, въ устройствѣ которыхъ принимаютъ участіе выдающіеся живописцы.

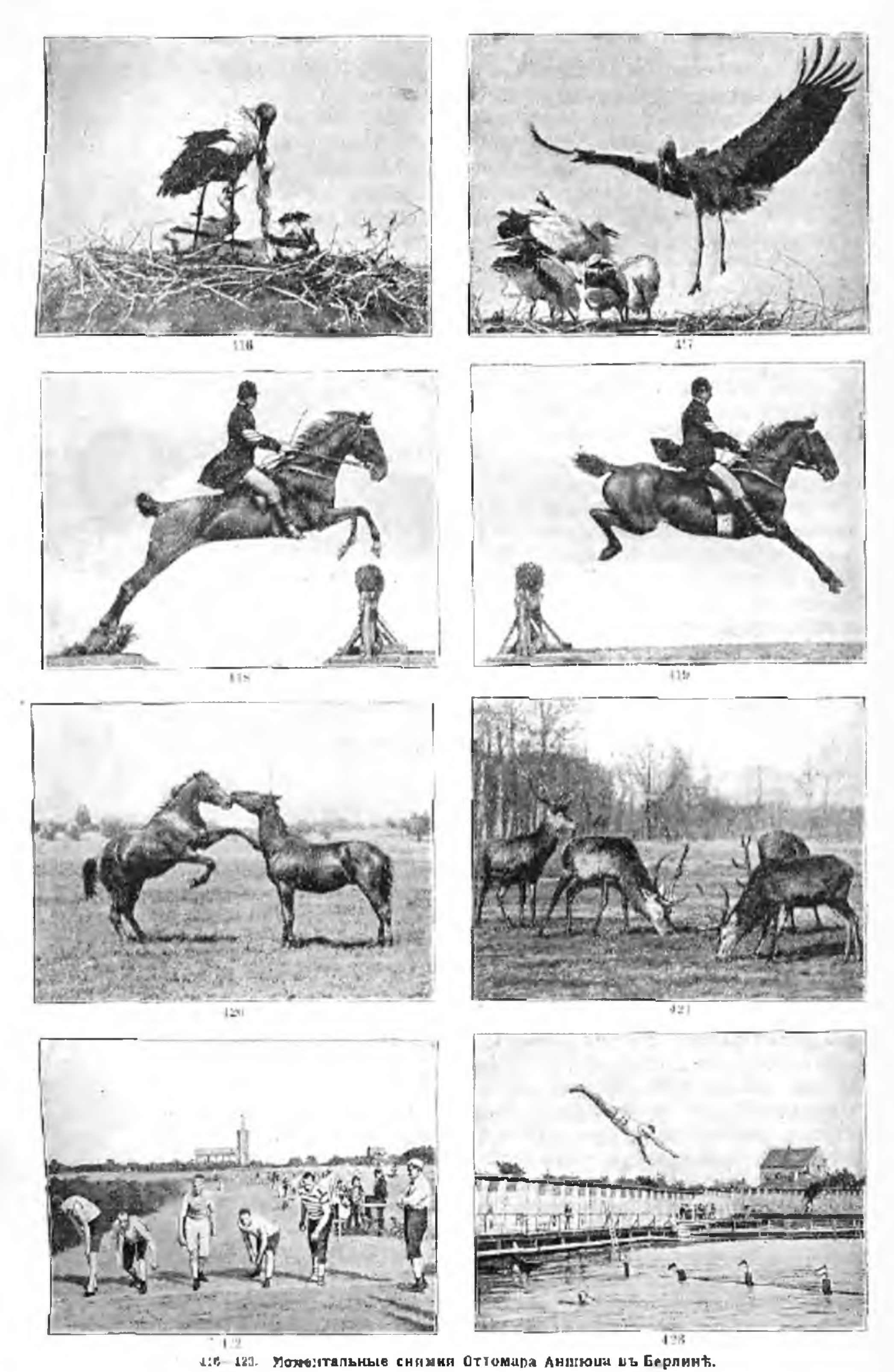
Панорама, какъ мы видѣли, основывается главнымъ образомъ на перспективѣ. **Діорама** же, впервые устроенная Дагерромъ, изобрѣтателемъ такъ называемой дагерротипіи, достигаетъ не менѣе поразительныхъ эффектовъ особеннымъ освѣщеніемъ. На большихъ просвѣчивающихъ поверхностяхъ шелковой ткани нарисованы съ обѣихъ сторонъ двѣ картины различнымъ образомъ. На передней сторонѣ напр. изображенъ ландшафтъ, освѣщенный солнцемъ, тогда какъ на задней сторонѣ тотъ же ландшафтъ представленъ при пасмурномъ, облачномъ небѣ или во время снѣжной бури и т. п. Освѣщая попеременно ту или другую стороны, можно вызвать ту или другую картину; можно пользоваться и заразъ отраженнымъ и проходящимъ свѣтомъ въ большей или меньшей степени и тѣмъ вызвать постепенный переходъ отъ одного вида къ другому.



415. Зоотропъ.

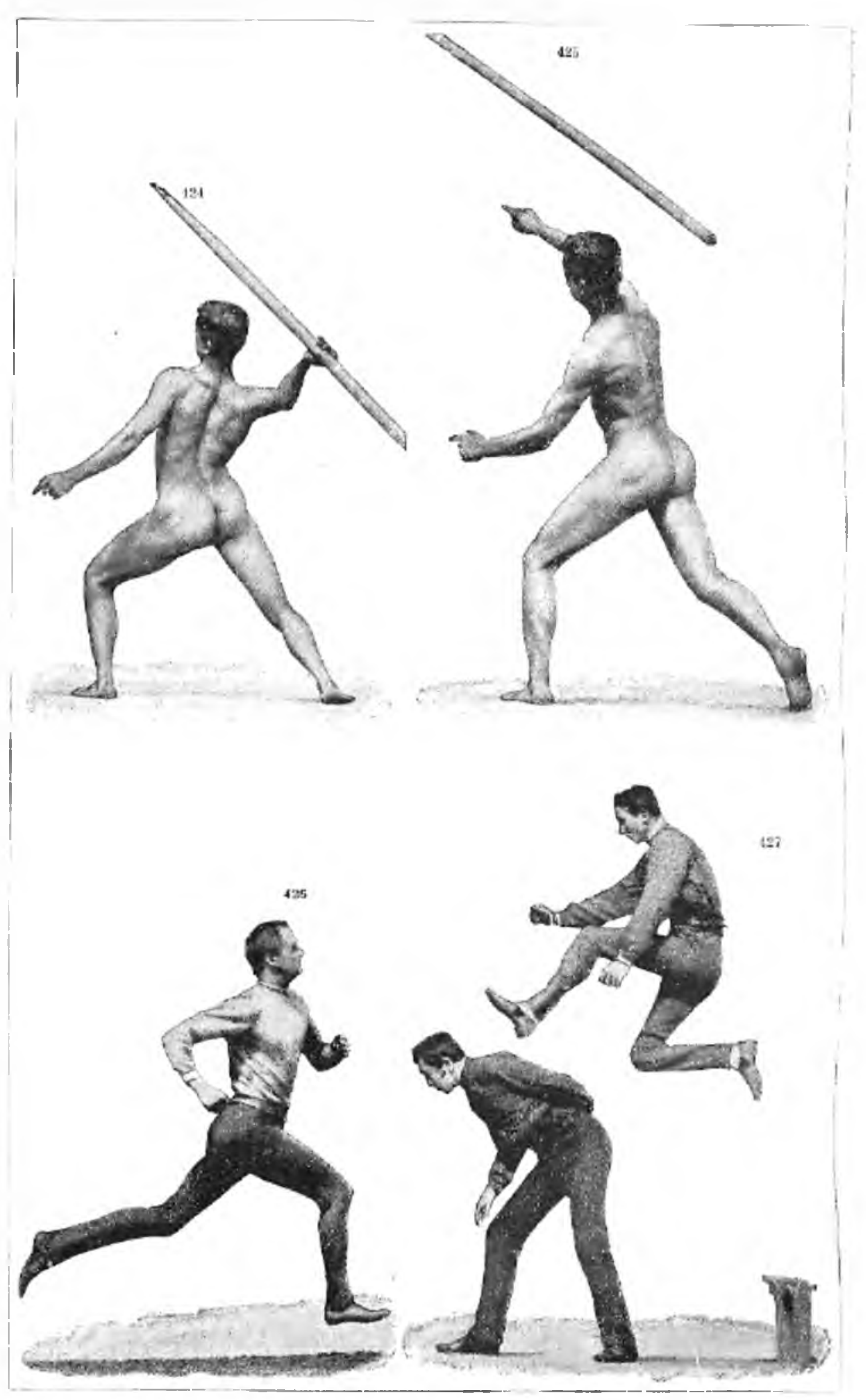
Скорость и продолжительность свѣтовыхъ впечатлѣній. Мы начинаемъ видѣть не въ тотъ же моментъ, когда свѣтъ достигаетъ до сѣтчатой оболочки нашего глаза. Нервы требуютъ извѣстное время для передачи мозгу полученныхъ ими свѣтовыхъ впечатлѣній, и въ свою очередь мозгъ требуетъ нѣкотораго времени, чтобы вызвать сознаніе о полученномъ имъ свѣтовомъ раздраженіи. Оба эти промежутка времени, правда, очень малы, настолько малы, что не поддаются обыкновенному наблюденію; но тѣмъ не менѣе физикамъ и физіологамъ удалось придумать точные способы для ихъ измѣренія. Изъ опытовъ оказалось, что время, протекающее между свѣтовымъ впечатлѣніемъ и сознаніемъ его, не только различно для различныхъ наблюдателей, но и неодинаково для одного и того же наблюдателя, смотря по состоянію его духа и тѣла; оно достигаетъ 0,1 и болѣе секунды. Такой промежутокъ времени называютъ **личнымъ уравненіемъ** наблюдателя, которое приходится принимать во вниманіе между прочимъ при астрономическихъ измѣреніяхъ.

Какъ для свѣтовыхъ впечатлѣній глазъ требуетъ нѣкоторой потери времени, точно такъ же и исчезаютъ эти впечатлѣнія не мгновенно, но сохраняются нѣкоторое время въ глазу и послѣ того, какъ причина, вызвавшая свѣтовое возбужденіе, прекратилась. Если мы станемъ напр. въ темной комнатѣ быстро вращать передъ глазами тлѣющую лучину, то намъ будетъ казаться вмѣсто движущейся свѣтящейся точки цѣлая свѣтлая полоса или даже полный огненный кругъ, при достаточно быстромъ движеніи. Такимъ же образомъ молнія, хотя она составляетъ мгновенную искру, но представляется



416—423. Моментальные снимки Оттомара Аншюца въ Берлинѣ.

416 и 417. Аистъ. 418 и 419. Прыжокъ лошади. 420. Лошади въ полѣ. 421. Олени. 422. Игра въ мячъ. 423. Прыжокъ въ воду внизъ головой.



424—427. Моментальные снимки Аншюца.

424 и 425. Бросаніе копья. 426. Бѣгъ. 427. Прыжокъ.

намъ въ видѣ зигзагообразной полосы, такъ какъ впечатлѣніе и послѣ уничтоженія изображенія на сѣтчаткѣ глаза сохраняется еще нѣкоторое время.

Цвѣтной дискъ (волчокъ) можетъ служить для опытовъ надъ остаточными свѣтовыми впечатлѣніями. Онъ приводится въ быстрое вращеніе помощью раскручиванія навернутаго на его ось шнурка, какъ и обыкновенный волчокъ (рис. 411). Если положить на него бумажный кружокъ съ различно окрашенными секторами, то вслѣдствіе быстрой смѣны различныхъ красокъ, при вращеніи диска въ глазу получается впечатлѣніе ихъ смѣси. Если напр. кружокъ состоитъ изъ чередующихся желтыхъ и синихъ частей, то при его вращеніи онъ покажется зеленымъ; если бы части были красныя и синія, то кружокъ казался бы лиловымъ и т. д. Съ такимъ волчкомъ можно продѣлать и нѣкоторые другіе опыты. Если, именно, вставить въ имѣющееся въ центрѣ его углубленіе изогнутую надлежащимъ образомъ проволоку, то во время вращенія получается впечатлѣніе прозрачнаго тѣла, въ родѣ рюмки или т. п. (рис. 412). Если на наклонно вставленную проволоку надѣть разноцвѣтный кружокъ, то при вращеніи получаются разнообразные свѣтовые эффекты, въ видѣ концентрическихъ колецъ, ширина и цвѣтъ которыхъ мѣняется при всякомъ прикосновеніи къ кружку (рис. 413). На рис. 414 представленъ простой цвѣтной дискъ, приводимый въ вращеніе помощью часового механизма и служащій для тѣхъ же опытовъ надъ смѣшеніемъ цвѣтовъ.

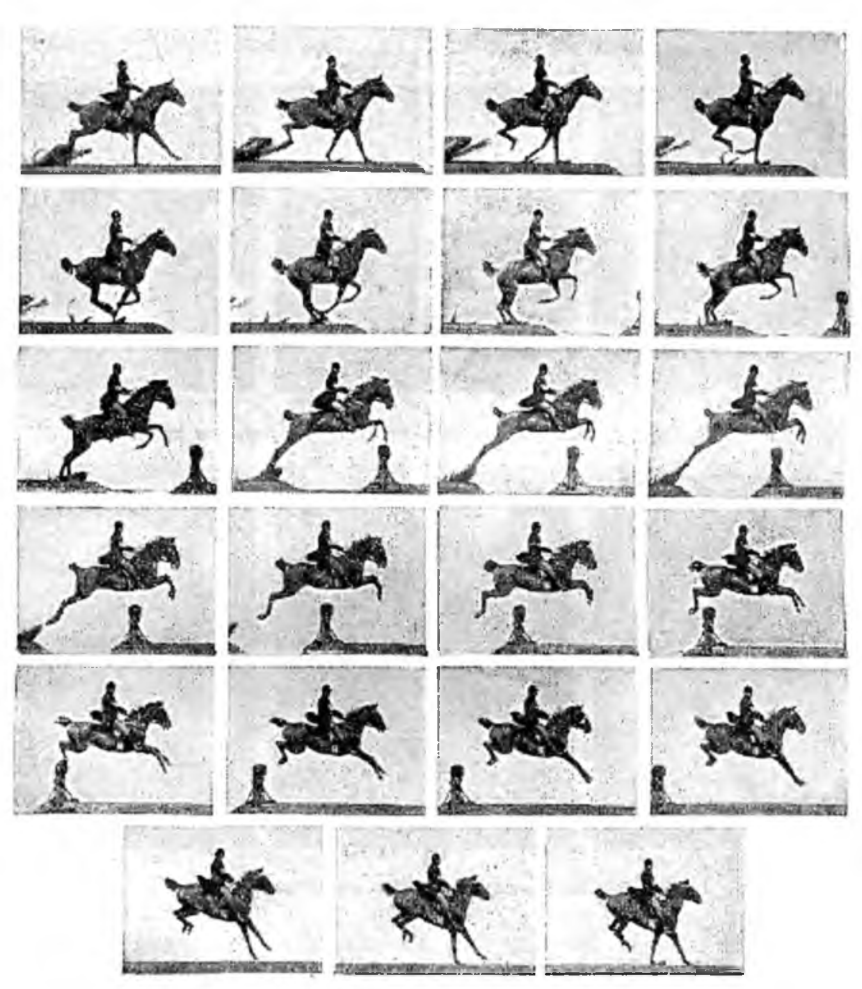
Стробоскопъ и зоотропъ. Всѣмъ навѣрное приходилось видѣть *небольшіе бумажные кружки, съ особыми рисунками на обѣихъ сторонахъ*, и съ прикрѣпленными къ нимъ нитями для приведенія въ быстрое вращеніе, причемъ оба рисунка сливаются въ одинъ, болѣе сложный. Если на одной сторонѣ нарисована напр. пустая клѣтка, а на другой птица, то при быстромъ вращеніи кружка птица будетъ казаться сидящею въ клѣткѣ. Подобный *кружокъ съ картинками носитъ названіе тауматропа (изобрѣтенъ въ* Парижѣ въ 1827 г.).

Очень интересенъ аппаратъ, извѣстный подъ названіемъ волшебнаго диска или стробоскопа и такъ же, какъ и предыдущій, основанный на остаточныхъ впечатлѣніяхъ глаза. Если размѣстить на дискѣ рядъ рисунковъ, *изображающихъ послѣдовательныя фазы какого-либо движущагося* предмета, то, при быстрой смѣнѣ этихъ рисунковъ передъ глазомъ, онъ увидитъ изображенный предметъ въ движеніи. Первые стробоскопическіе диски были изготовлены Штампферомъ въ Вѣнѣ въ 1832 г. Одновременно и независимо были придуманы подобные же диски, подъ названіемъ фенаки*стоскопа, извѣстнымъ ученымъ Плато. Подобные приборы, подъ названіями* волшебнаго барабана, зоотропа и т. п., съ 1866 г. стали устроивать въ видѣ вертикальныхъ цилиндровъ, которые можно было вращать около ихъ осей. Въ боковой стѣнкѣ, вблизи верхняго ея края, имѣется рядъ щелей, черезъ которыя можно смотрѣть внутрь цилиндра. На внутренней поверхности *помѣщается бумажная лента съ различными рисунками, изображающими* послѣдовательныя фазы какого-либо движенія, напр. ногъ во время бѣга, мячика при его полетѣ вверхъ и внизъ и т. п. Черезъ щель можно видѣть только одну изъ этихъ картинокъ. При вращеніи же цилиндра онѣ будутъ послѣдовательно смѣняться передъ глазомъ и произведутъ впечатлѣніе непрерывно движущагося предмета. Рис. 415 изображаетъ наружный видъ стробоскопа.

Прекрасные рисунки для такихъ цѣлей въ послѣднее время изготовляются въ Америкѣ Мюйбриджомъ, а въ Германіи Аншюцомъ посредствомъ моментальныхъ фотографическихъ снимковъ, производимыхъ отъ 15 до 24 разъ въ теченіе отъ 0,5 до 1,5 секунды.

Рис. 416—428 представляютъ моментальные снимки Оттомара Аншюца въ Берлинѣ.

Рис. 429—434 представляютъ фотографическіе моментальные снимки ружейнаго и пушечнаго снарядовъ во время ихъ полетовъ; снимки эти исполнены Е. и Л. Махъ въ Прагѣ. Первые три рисунка изображаютъ именно ружейныя (429) и пушечные (430—431) снаряды различнаго вида и

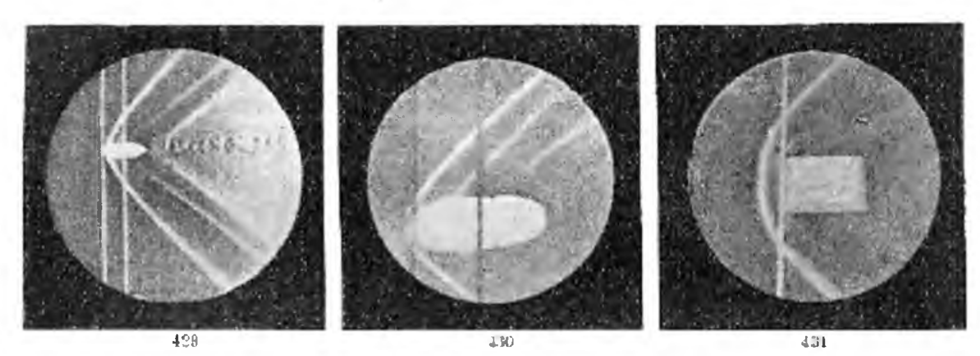


428. Моментальные послѣдовательные снимки лошади.

движущіеся со скоростями 520—670 м. въ секунду, вмѣстѣ съ вызванными ими воздушными волнами и вихрями. Освѣщеніе при этомъ производилось посредствомъ электрической искры, которая появлялась въ тотъ моментъ, когда пуля касалась двухъ вертикально натянутыхъ проволокъ (см. рис.). Пуля замыкаетъ такимъ образомъ гальваническую цѣпь, вслѣдствіе чего и получается искра. На снимкахъ ясно видна вершина гиперболоидальной воздушной волны, которую несетъ съ собою снарядъ. Непосредственно за снарядомъ образуется пустое пространство, къ которому воздухъ притекаетъ спиральными вихрями, подобными тѣмъ, какіе наблюдаются сзади быстро идущаго корабля.

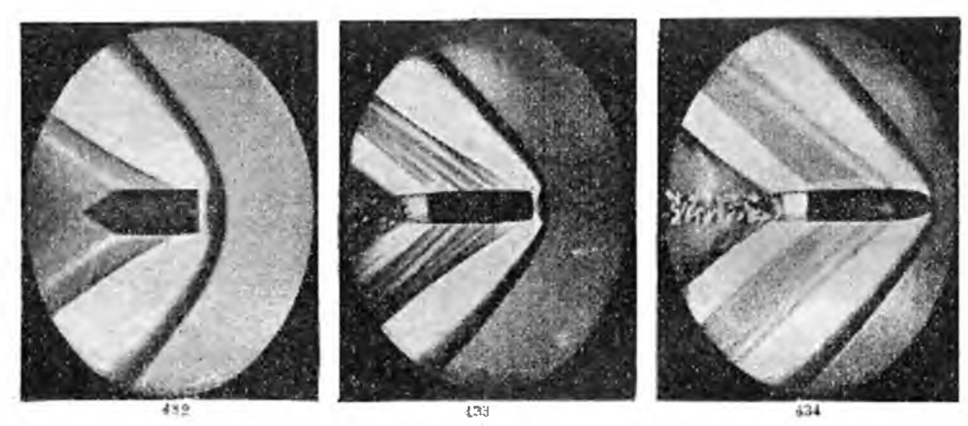
На рис. 435 изображенъ электрическій стробоскопъ Аншюца, состоящій изъ диска съ прозрачными картинками (діапозитивы) и гейслеровой трубки, поставленной сзади; трубка эта вспыхиваетъ каждый разъ, когда мимо нея проходитъ картинка. Этотъ приборъ можно считать прототипомъ распространенныхъ теперь кинетоскопа и кинематографа, посредствомъ которыхъ показываются въ проекціи на экранѣ, такъ называемыя живыя фотографіи.

Хроматропъ. Упомянемъ еще объ одномъ аппаратѣ, основанномъ на остаточныхъ зрительныхъ ощущеніяхъ. Это такъ называемый хроматропъ,



429 430 431

429—431. Ружейный и пушечные снаряды во время ихъ полета.



432 433 434

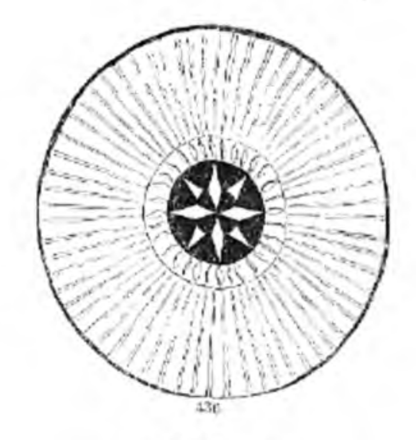
432—434. Ружейные снаряды во время полета.

посредствомъ котораго производится на экранѣ поразительно красивая игра цвѣтовъ. Несмотря на разнообразіе воспроизводимыхъ свѣтовыхъ эффектовъ, самый приборъ очень простого устройства. Это волшебный фонарь, въ который вставляются пестро раскрашенные стеклянные диски, въ родѣ тѣхъ, какіе показаны на рис. 436 и 437. Два такихъ диска, поставленныхъ одинъ передъ другимъ и вращаемыхъ въ противоположные стороны, даютъ самыя разнообразныя, быстро смѣняющіяся цвѣтныя фигуры, какъ въ калейдоскопѣ. На рис. 438 изображено простое приспособленіе, служащее для этой цѣли.

Субъективныя зрительныя явленія.

Зрительныя ощущенія могутъ вызываться не только свѣтовыми лучами, но и простыми раздраженіями зрительныхъ нервовъ. Какъ раздраженіе слуховыхъ нервовъ возбуждаетъ представленіе о звукѣ, такъ и раздраженіе

зрительныхъ нервовъ вызываетъ представленіе о свѣтѣ. Можно проявить въ глазу свѣтовыя впечатлѣнія простымъ давленіемъ, или электрическимъ токомъ, или тепловыми дѣйствіями и т. п. Такія явленія называются субъективными зрительными явленіями. Къ этой же области явленій можно причислить и такъ называемые **обманы зрѣнія**, которые представляютъ интересъ и важность не только въ физіологіи, но и въ живописи. Сюда относятся явленія *иррадіаціи, контраста и остаточныя свѣтовыя впечатлѣнія.*

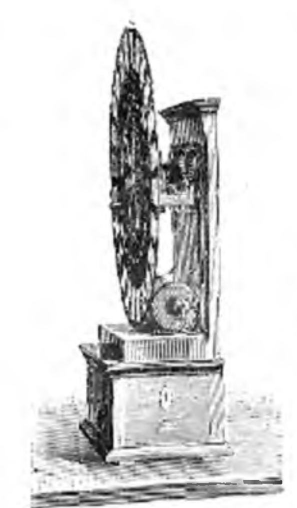


436



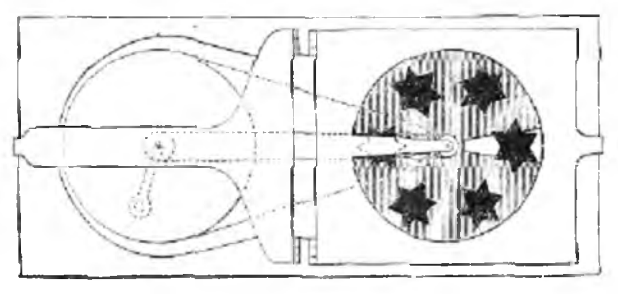
437

436 и 437. Диски хроматропа.



435. Электрическій стробоскопъ Аншюца.

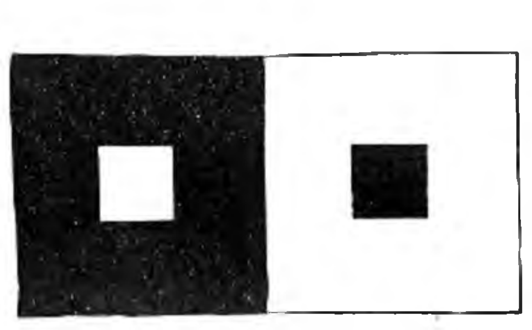
Если вырѣзать изъ бумаги два одинаковыхъ по величинѣ квадрата, причемъ одинъ будетъ черный, а другой бѣлый, и черный положить на бѣлый листъ, а бѣлый квадратъ на черную бумагу, то оба квадрата покажутся неодинакой величины (рис. 439). Обыкновенно кажется сильно освѣщенная поверхность большею, чѣмъ она есть въ *дѣйствительности;* сосѣднія же темныя поверхности кажутся, напротивъ, меньше ихъ дѣйствительной величины. Яркій свѣтъ возбуждаетъ не только тѣ части сѣтчатой оболочки, на которыя онъ непосредственно падаетъ, но также въ нѣкоторой степени и сосѣднія мѣста. Плато полагаетъ, что это происходитъ отъ распространенія свѣтового возбужденія по сѣтчатой оболочкѣ, тогда какъ Гельмгольцъ сводитъ объясненіе явленія иррадіаціи *къ свѣтовой абераціи на* сѣтчаткѣ, сферической и хроматической, вслѣдствіе между прочимъ несовершенной аккомодаціи глаза. Бронзовая статуя кажется меньше, чѣмъ изъ гипса или мрамора; черныя перчатки дѣлаютъ руки миніатюрнѣе, чѣмъ бѣлыя; кружевница, желающая похвастать своею тонкой работой, должна показывать черныя кружева на бѣломъ фонѣ, а не обратно.



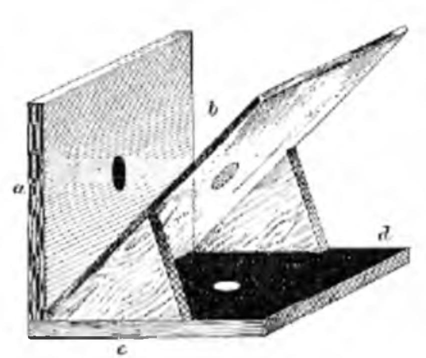
438. Проекціонный стробоскопъ.

Если долго и пристально смотрѣть на бѣлый дискъ, лежащій на чер-

номъ фонѣ, а затѣмъ обратить глаза на бѣлую поверхность, то мы увидимъ на бѣломъ фонѣ темное изображеніе диска. Причина этого явленія заключается въ неодинаковости возбужденія и утомленія или притупленія нѣкоторой части сѣтчатой оболочки, на которую дѣйствовалъ болѣе сильный свѣтъ. Черезъ нѣкоторое время такое остаточное возбужденіе исчезаетъ, и снова всѣ части сѣтчатки пріобрѣтаютъ ихъ прежнюю воспріимчивость. Притупленіе зрительныхъ нервовъ можетъ быть произведено не только бѣлымъ свѣтомъ, но и цвѣтнымъ, и это обстоятельство должно приниматься въ рас-

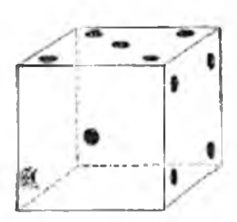


439. Иррадіація.

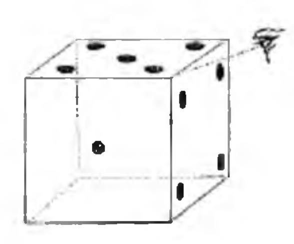


440. Контрастные цвѣта.

четъ между прочимъ живописцами для того, чтобы пользоваться дѣйствіями контраста для полученія красивыхъ цвѣтныхъ оттѣнковъ. Если смотрѣть на красную фигуру, находящуюся на бѣломъ фонѣ, то, взявъ ее прочь, мы увидимъ на ея мѣстѣ зеленую фигуру; наоборотъ, зеленый цвѣтъ вызвалъ бы остаточное изображеніе краснаго цвѣта, желтый цвѣтъ вызвалъ бы фіолетовое изображеніе. Нервы сѣтчатой оболочки при продолжительномъ дѣйствіи лучей извѣстнаго цвѣта притупляются относительно этого цвѣта, становятся менѣе чувствительными къ нему, а потому при послѣдующемъ дѣйствіи бѣлаго свѣта они сильнѣе раздражаются тѣми остальными составными его лучами, дополнительными къ первоначальнымъ цвѣтнымъ лучамъ.



441. Кубъ, разсматриваемый спереди.



442. Кубъ, видимый сбоку.

Извѣстно, что если разсматривать одинъ за другимъ нѣсколько оттѣнковъ одного и того же цвѣта, то каждый послѣдующій изъ нихъ будетъ казаться менѣе красивымъ, тогда какъ, напротивъ, дополнительные соотвѣтствующіе цвѣта выигрываютъ при этомъ. Сопоставленіе дополнительныхъ цвѣтовъ производитъ на глазъ всегда пріятное впечатлѣніе. Поэтому продавцы всегда стараются расположить цвѣтныя ткани въ такомъ порядкѣ, чтобы цвѣта ихъ не утомляли глазъ своимъ однообразіемъ. Каждая краска сама по себѣ не производитъ непріятнаго впечатлѣнія на глазъ, и всегда можно расположить краски такимъ образомъ, пользуясь контрастомъ освѣщенія и цвѣта, чтобы онѣ казались болѣе красивыми.

Контрастные цвѣта могутъ быть удобно показаны при помощи слѣдующаго простого прибора. На вертикальной дощечкѣ, оклеенной бѣлой бумагой, имѣется посрединѣ черный кружокъ 1,5 см. въ діаметрѣ, тогда какъ на горизонтальной дощечкѣ, покрытой черной бумагой, посрединѣ находится

такой же величины бѣлый кружокъ. Подъ угломъ въ 45° къ этимъ дощечкамъ ставится цвѣтное стекло. Если глазъ помѣстить такъ, чтобы отраженное отъ нижней поверхности стекла изображеніе бѣлаго кружка пришлось бы какъ разъ противъ чернаго кружка вертикальной стѣнки, то изображеніе это покажется окрашеннымъ въ цвѣтъ, дополнительный къ цвѣту стекла.

Смотрѣніе обоими глазами. Всѣ разсмотрѣнныя до сихъ поръ явленія представляются намъ совершенно одинаково, смотримъ ли мы на нихъ однимъ или двумя глазами. Но нѣкоторыя впечатлѣнія, какъ напримѣръ тѣлесности или выпуклости и вогнутости, обусловливаются смотрѣніемъ одновременно двумя глазами.

Когда мы смотримъ на какой-либо предметъ, то на сѣтчаткѣ нашего глаза образуется плоское изображеніе его. Однимъ глазомъ мы различаемъ только два измѣренія, ширину и высоту. Слѣдовательно, чтобы однимъ глазомъ можно было судить о тѣлесности предмета, мы должны смотрѣть на предметъ съ разныхъ сторонъ. Такимъ только образомъ мы получимъ понятіе и о третьемъ измѣреніи. Если напримѣръ глазъ находится передъ кубомъ (рис. 441 и 442) спереди, то онъ увидитъ только квадратъ 1, между тѣмъ какъ онъ будетъ находится въ положеніи, представленномъ на рис. 442, то ему видны будутъ и другія двѣ стороны, 4 и 5. Такимъ образомъ мы придемъ къ заключенію, что видѣнный сперва глазомъ предметъ не есть просто квадратъ, а нѣкоторое тѣло трехъ измѣреній; мы получимъ понятіе при этомъ и о глубинѣ или толщинѣ его.

Путемъ опыта и аналогіи мы научаемся судить о полномъ изображеніи предмета по немногимъ его элементамъ. Въ случаѣ необходимости мы могли бы поэтому получить понятіе о тѣлесности предметовъ и помощью одного глаза. При помощи же двухъ глазъ мы получаемъ возможность сразу видѣть предметъ съ разныхъ сторонъ, тогда какъ однимъ глазомъ мы могли бы достигнуть этого только въ два послѣдовательныхъ пріема.

d

b

c

a

443.

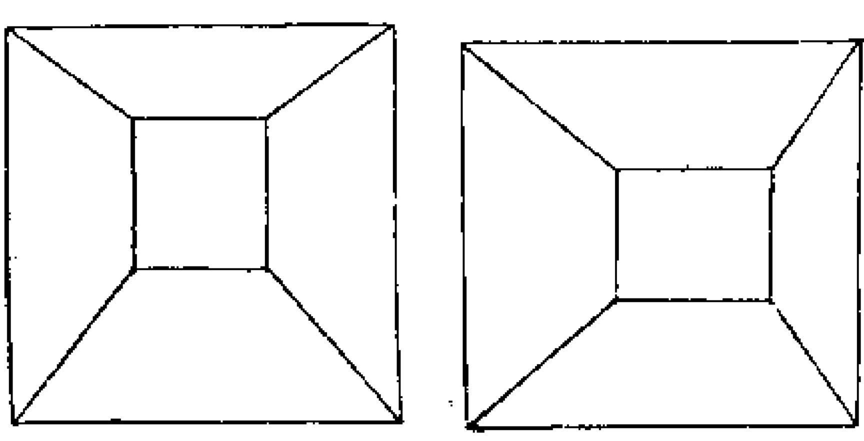
Стереоскопъ. На этомъ принципѣ основано устройство стереоскопа, помощью котораго мы можемъ получить понятіе о тѣлесности изображеннаго предмета по двумъ рисункамъ, изъ которыхъ каждый, правый и лѣвый, мы можемъ видѣть соотвѣтственно только однимъ глазомъ, и изъ которыхъ первый представляется такимъ, какимъ мы видѣли бы предметъ только правымъ глазомъ, а другой — лѣвымъ глазомъ. Принципъ стереоскопа былъ извѣстенъ уже очень давно. Брюстеръ полагаетъ, что онъ извѣстенъ былъ уже Евклиду и что о немъ упоминалъ Галенусъ 1500 лѣтъ тому назадъ. Порта изготовлялъ правильные стереоскопическіе рисунки еще въ 1599 г. Но, какъ бы то ни было, честь открытія настоящаго стереоскопа надо приписать Витстону (Wheatstone).

Оба стереоскопическіе рисунка при смотрѣніи на нихъ отдѣльно обоими глазами тогда только даютъ впечатлѣніе одного изображенія, когда отдѣльныя изображенія въ каждомъ глазѣ получаются на симметричныхъ мѣстахъ сѣтчатой оболочки. Когда же возбуждаются несимметричныя части сѣтчатки, тогда оба изображенія не сливаются въ одно, а видны отдѣльно. Оба глаза при фиксированіи на нѣкоторую опредѣленную точку располагаются такъ, чтобы лучи упали на соотвѣтствующія мѣста сѣтчатки. Другія же точки, которыя попадаютъ при этомъ въ поле зрѣнія, кажутся двойными, хотя на это обыкновенно не обращается вниманія.

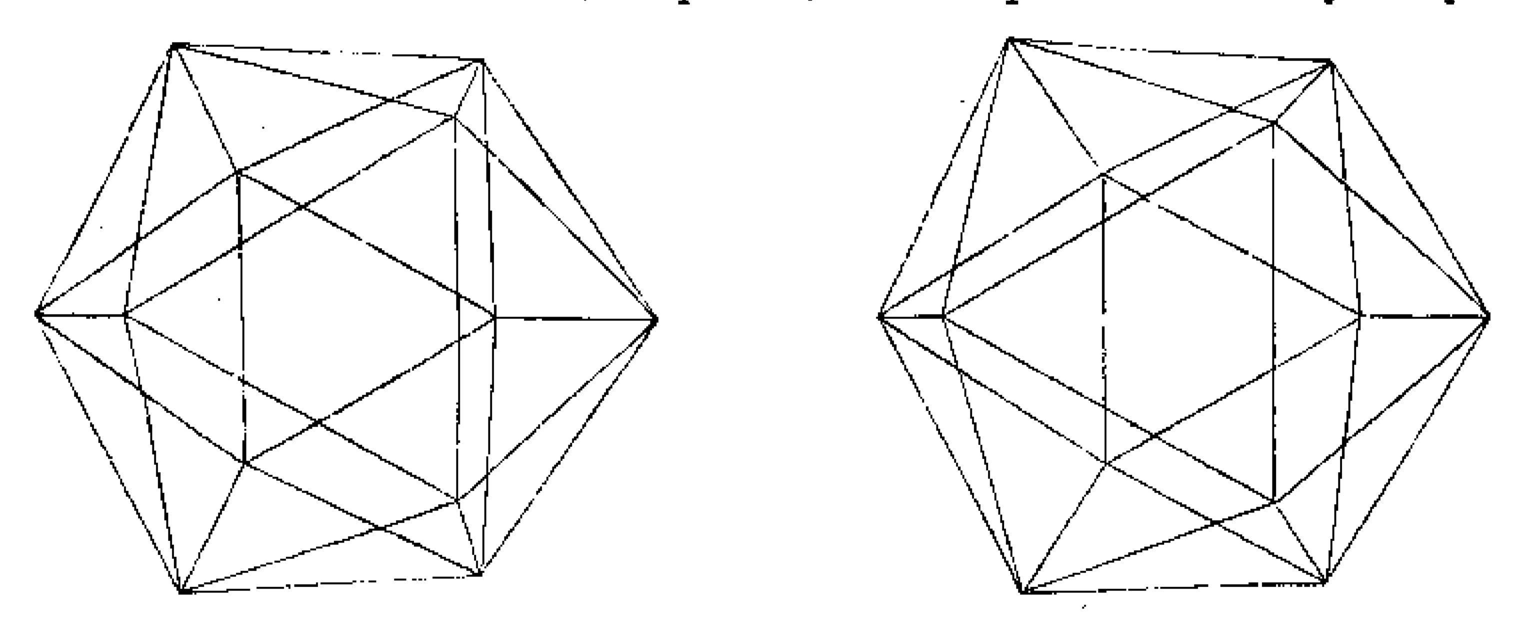
Доказать это можно при помощи двухъ зажженныхъ свѣчекъ, поставленныхъ одна за другой. Если фиксировать глаза попеременно то на одну, то на другую изъ нихъ, то мы замѣтимъ, что та свѣча, на которую мы не

смотримъ пристально, представится намъ двойною. Взявъ затѣмъ еще свѣчку, мы можемъ расположить ихъ такимъ образомъ, чтобы двойныя изображенія исчезли. Это можно сдѣлать двоякимъ образомъ. Именно, во-первыхъ, фиксируемая одна свѣча должна быть поставлена такъ, чтобы двѣ другія свѣчи пришлись бы на продолженіи осей зрѣнія, или же, во-вторыхъ, такъ, чтобы обѣ свѣчи находились на этихъ осяхъ передъ фиксируемой свѣчей.

Вмѣсто двухъ свѣчей мы можемъ поставить два стереоскопическихъ рисунка и произвести съ ними предыдущій опытъ. Рис. 443 представляетъ тотъ случай, когда глаза *a* направлены на точку *b*, въ которой обѣ зрительныя оси пересѣкаются. При этомъ два стереоскопическихъ рисунка должны быть помѣщены для совпаденія ихъ изображеній или въ *c* или въ *d*. Мы увидимъ тогда одно изображеніе представленнаго на рисункахъ какого-либо тѣла, какъ бы находящагося въ *b*. Но впечатлѣніе въ обоихъ случаяхъ будетъ различное, такъ какъ, напр., если снятыя съ одной и той же пирамиды рисунки (444) помѣстить въ *c*, причемъ лѣвымъ глазомъ мы будемъ видѣть лѣвый рисунокъ, а правымъ глазомъ правый рисунокъ, и такъ какъ оба вида соотвѣтствуютъ тому, который мы въ дѣйствительности увидѣли бы, смотря на пирамиду сверху, то и стереоскопическое изображеніе дало бы намъ то же самое. Если же, напротивъ, мы смотрѣли бы на полую пирамиду, обращенную къ намъ своимъ основаніемъ, то лѣвому глазу представился бы тотъ видъ, который соотвѣтствуетъ правому рисунку, а правый глазъ увидѣлъ бы такъ, какъ изображено на лѣвомъ рисункѣ. Поэтому, если бы рисунки были помѣщены въ *d* такъ, чтобы зрительныя оси пересѣкались бы передъ ними, то намъ казалась бы углубленная пирамида.



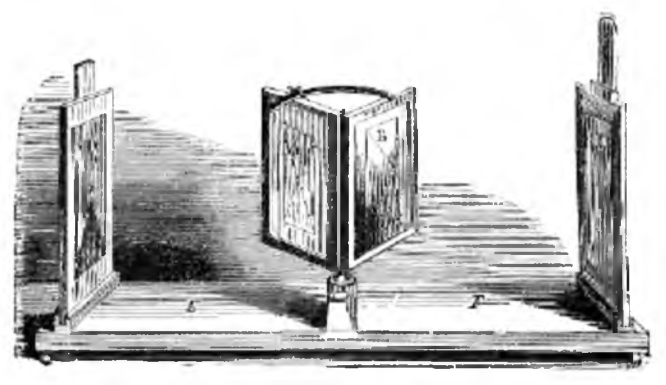
444. Стереоскопическіе рисунки пирамиды.



445. Стереоскопическіе рисунки модели кристалла.

Такимъ образомъ мы имѣемъ возможность по желанію увидѣть углубленія вмѣсто возвышеній при помощи однихъ и тѣхъ же рисунковъ. Рис. 445 представляетъ другой подобный же примѣръ. Удобнымъ приспособленіемъ для надлежащаго фиксированія глазъ можетъ служить простая вязальная игла. Сразу однако не удается достигнуть желаемаго совпаденія рисунковъ; требуется нѣкоторый навыкъ для этого.

Для устраненія всякихъ затрудненій въ этомъ отношеніи и былъ изобрѣтенъ Витстономъ особый приборъ — стереоскопъ (1838 г.). Приборъ этотъ (рис. 446) состоитъ изъ двухъ плоскихъ зеркалъ A и B, поставленныхъ подъ угломъ въ 90° другъ къ другу. Непосредственно передъ ними ставится дощечка (на рис. не показанная) съ двумя отверстіями для глазъ. Съ боковъ имѣются двѣ рамки для вставленія рисунковъ.



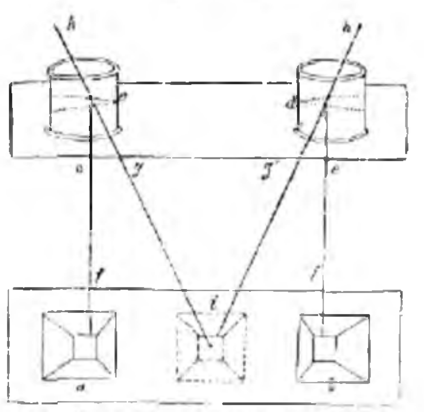
446. Зеркальный стереоскопъ Витстона.

Самъ Витстонъ вскорѣ замѣнилъ этотъ аппаратъ другимъ, болѣе совершеннымъ. Вмѣсто зеркалъ онъ примѣнилъ въ немъ призмы, обращенныя одна къ другой своими преломляющими ребрами (рис. 447). Объ устройствѣ и о дѣйствіи такого прибора дастъ понятіе рис. 448. Идущіе отъ рисунковъ a и b лучи f отклоняются призмами c и d въ стороны h, почему наблюдатель увидитъ одно изображеніе въ направленіи hi. Внѣшній видъ такого призматическаго стереоскопа показанъ на рис. 449.

Брюстеру пришла счастливая мысль замѣнить призмы въ стереоскопѣ получечевицами, причемъ картины получались въ увеличенномъ видѣ (1850 г.). Въ Германіи уже въ 1844 г. проф. Мозеръ сталъ приготовлять для стереоскопа фотографическіе снимки. Въ настоящее время стереоскопъ составляетъ одинъ изъ самыхъ распространенныхъ приборовъ, имѣющихся чуть не въ каждомъ семейномъ домѣ. Рис. 450 представляетъ очень простой складной стереоскопъ новѣйшей конструкціи.



447. Стереоскопическія призмы.

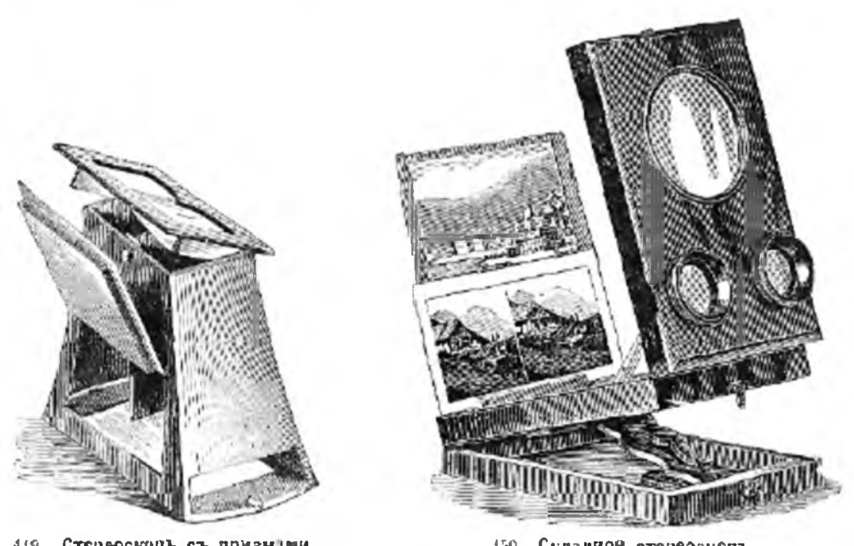


448. Принципъ устройства стереоскопа.

Въ нашемъ представленіи о тѣлесности видимаго предмета существенное значеніе имѣетъ кромѣ рѣзкости очертаній также и распредѣленіе свѣта и тѣни. Вотъ почему фотографическіе снимки, передающіе въ точности дѣйствительное освѣщеніе предмета, производятъ въ стереоскопѣ такое поразительное впечатлѣніе. Чувствительность фотографическихъ аппаратовъ настолько велика, что въ стереоскопѣ мы можемъ наблюдать цѣлыя уличныя сцены, схваченныя въ нѣкоторый данный моментъ, летящихъ птицъ, волнующееся море и т. п.

Какъ ни малы даже при точномъ, внимательномъ разсмотрѣніи отступленія между собою двухъ перспективныхъ рисунковъ въ стереоскопѣ, но они все-таки больше, чѣмъ тѣ, которыя соотвѣтствовали бы разстоянію нашихъ глазъ. Фотографическіе аппараты при снимкахъ ставятся въ бо́льшемъ разстояніи другъ отъ друга, чѣмъ это слѣдовало бы соотвѣтственно дальности

зрѣнія. Поэтому стереоскопическая картина производитъ впечатлѣніе, какъ будто бы уменьшенная модель разсматривается нами съ болѣе близкаго разстоянія. Имѣются между прочимъ стереоскопическіе снимки луны. Разстояніе луны отъ насъ между тѣмъ настолько велико, что снимки ея съ двухъ



449. Стереоскопъ съ призмами. 450. Складной стереоскопъ.

различныхъ мѣстъ земной поверхности не могутъ замѣтнымъ образомъ отличаться одинъ отъ другого и слѣдовательно и не могутъ вызвать стереоскопическаго впечатлѣнія. Стереоскопическія картинки луны даютъ намъ од-



451. Схематическое изображеніе телестереоскопа.

нако несомнѣнно изображеніе сферическаго тѣла. Какимъ же образомъ фотографическіе стереоскопическіе снимки луны получены? Дѣло въ томъ, что луна, вслѣдствіе кажущагося колебанія ея около средней ея оси (либрація), поворачивается къ землѣ на нѣсколько градусовъ то своей правой, то лѣвой стороной. Для изготовленія же стереоскопическихъ рисунковъ, очевидно,

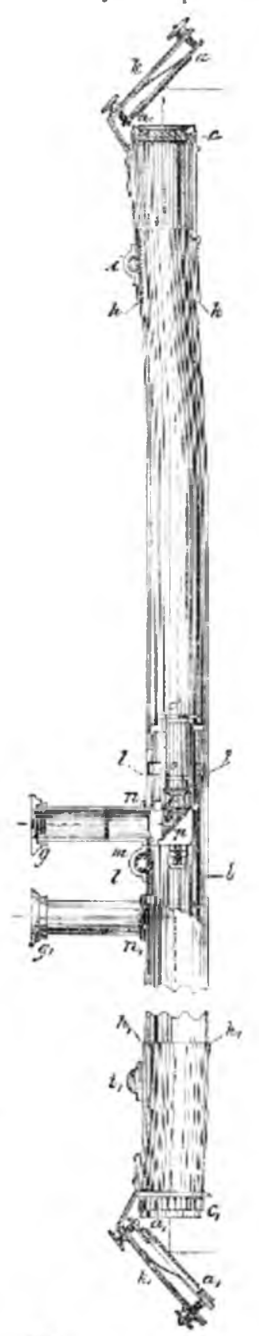
одинаково можно пользоваться или смѣщеніемъ аппарата или же поворачиваніемъ снимаемаго предмета. Оба стереоскопическіе снимка луны приходится, слѣдовательно, дѣлать не одновременно, а черезъ нѣкоторое время одно послѣ другого, когда одно отклоненіе луны отъ средняго ея положенія перейдетъ въ противоположное.

Телестереоскопъ. Въ отдаленномъ ландшафтѣ, который мы впервые разсматриваемъ, съ трудомъ можно распознать взаимное расположеніе отдѣльныхъ его частей, напр. горъ. Это вслѣдствіе того, что изображенія его въ обоихъ глазахъ почти тождественны между собою въ такомъ случаѣ. Посредствомъ изобрѣтеннаго Гельмгольцемъ телестереоскопа можно значительно увеличить разстояніе между точками зрѣнія и такимъ образомъ получить отъ отдаленнаго предмета два достаточно отличающихся между собой изображенія, а слѣдовательно вмѣстѣ съ тѣмъ и впечатлѣніе рельефа.

Устройство телестереоскопа очень простое, сходное съ тѣмъ, какъ и зеркальнаго стереоскопа Витстона (рис. 446). Приборъ предназначается для непосредственнаго наблюденія ландшафтовъ. На рис. 451 представлено схематическое изображеніе телестереоскопа. Идущіе отъ предмета лучи, отразившись отъ зеркалъ, попадаютъ въ глаза наблюдателя r и ς, причемъ они проходятъ пути $cbar$ и $\gamma\beta\alpha\varsigma$. Увеличительный гельмгольцевскій телестереоскопъ представленъ на рис. 452. Въ немъ aa и $a_1 a_1$ оба внѣшнихъ зеркала; объективы, помѣщающіеся въ e и e_1, могутъ передвигаться посредствомъ зубчатокъ ih и $i_1 h_1$. Лучи, идущіе отъ a, проходятъ черезъ чечевицы d и e и, отразившись внутри призмъ p, попадаютъ въ окуляры.

На томъ же принципѣ основаны двойныя зрительныя трубки, изготовляемыя съ недавняго времени фирмою Карла Цейса въ Іенѣ; изображены онѣ на рис. 453 и 454.

Въ заключеніе мы обратимъ вниманіе на очень остроумное практическое примѣненіе стереоскопа, предложенное Дове. Если взять два совершенно одинаковыхъ рисунка, напр. хотя бы двѣ квитанціи, то въ стереоскопѣ, слившись одинъ съ другимъ, они дадутъ то же впечатлѣніе плоскаго рисунка. Но если квитанціи не тождественны, если онѣ напечатаны въ разное время или разными шрифтами, то плоскаго ихъ совпаденія достигнуть нельзя, и въ стереоскопѣ мы увидимъ нѣкоторыя буквы и слова какъ бы приподнятыми, изображеніе уже не будетъ тогда казаться плоскимъ. Примѣръ такихъ не вполнѣ тождественныхъ отпечатковъ даетъ рис. 455.

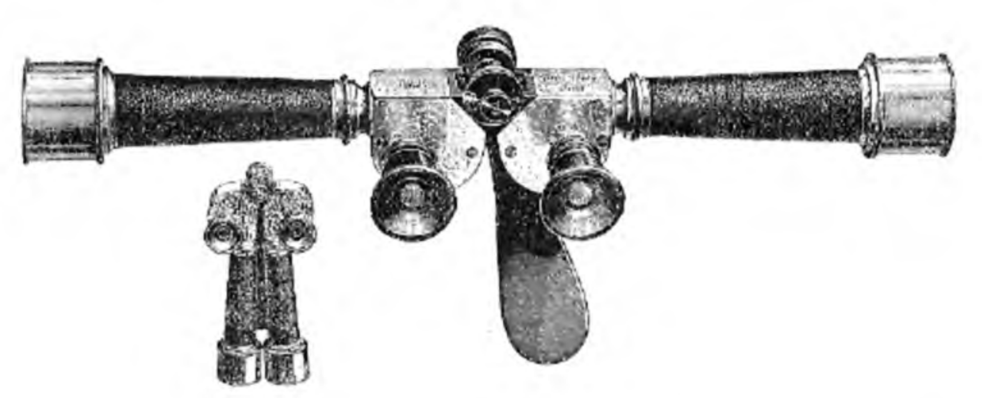


452. Телестереоскопъ Гельмгольца.

При нѣкоторомъ навыкѣ удается привести ихъ въ совпаденіе и безъ помощи стереоскопа, какъ объ этомъ уже говорилось раньше. Тогда можно замѣтить, что первая строчка въ видѣ уступовъ какъ бы опускается слѣва на право. Во второй строчкѣ

получится какъ разъ обратное. Подобныя же рельефныя впечатлѣнія дадутъ и двѣ другія строчки.

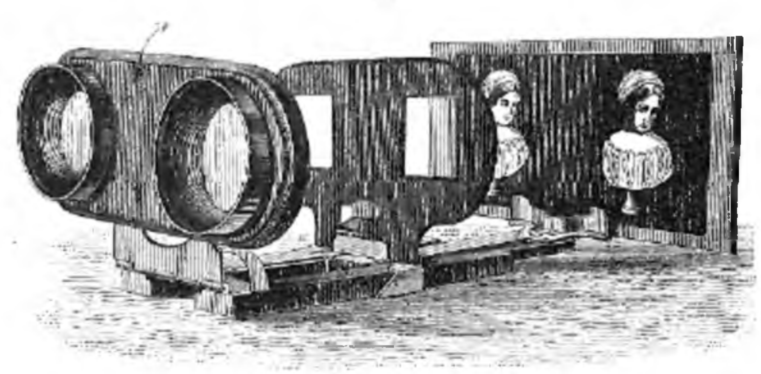
Такимъ образомъ по предложенію Дове можно посредствомъ стерео-



453 и 454. Двойная зрительная труба К. Цейса.

Tröste dich, wenn edlen Gaben Nicht des Volkes Jubel glückt. Was der Weise sieht erhaben, Ist der Menge oft verrückt.	Tröste dich, wenn edlen Gaben Nicht des Volkes Jubel glückt. Was der Weise sieht erhaben, Ist der Menge oft verrückt.

455.



456. Складной стереоскопъ.

скопа сравнить между собою два отпечатка, въ тождественности которыхъ является сомнѣніе. Выступленіе буквъ или отдѣльныхъ частей рисунка изъ плоскости можетъ указать на поддѣлку, какъ бы она ни была совершенна.

Телескопъ.

История изобрѣтенія. Устройство зрительной трубы. Голландская или Галилеева труба. Астрономическая или Кеплерова труба. Зрительная труба. Усовершенствованіе ея Эйлеромъ, Доллондомъ, Фрауенгоферомъ. Фрауенгоферскій рефракторъ въ Дерптской обсерваторіи. Пассажный инструментъ. Наиболѣе извѣстные рефракторы. Зеркальный телескопъ. Большіе телескопы. Различныя устройства телескоповъ Ньютона, Грегори и Гершеля. Что можно видѣть въ зрительную трубу?

Въ началѣ 17 столѣтія въ голландскомъ городѣ Миддельбургѣ была впервые открыта зрительная труба. Въ какомъ именно году — въ точности неизвѣстно.

Полагаютъ, что дѣти одного оптика въ Миддельбургѣ, Захарія Янсена, играли съ очковыми стеклами, которыя изготовлялись ихъ отцомъ и, случайно помѣстивъ передъ глазомъ два стекла на нѣкоторомъ разстояніи одно отъ другого, они увидѣли увеличенное и какъ бы приближенное изображеніе верхушки башни. Отецъ, узнавъ объ этомъ, повторилъ опытъ, который его навелъ на мысль устроить зрительную трубу.

По другимъ указаніямъ оптикъ Іоганнъ Липпенштейнъ, Липпенгеймъ или Лаппрей, какъ его различно называютъ, получилъ отъ одного незнакомца заказъ отшлифовать по его указаніямъ выпуклыя и вогнутыя стекла. Когда они были готовы, незнакомецъ взялъ въ руки одно выпуклое и одно вогнутое стекло и, приближая одно къ другому или отдаляя ихъ, сталъ смотрѣть на отдаленные предметы. Заинтересовавшись, Липпенштейнъ послѣ ухода незнакомца попробовалъ подобнымъ же образомъ посмотрѣть сквозь такія стекла. Пораженный успѣхомъ, онъ пришелъ къ идеѣ закрѣпить стекла на опредѣленномъ разстояніи и такимъ образомъ устроилъ зрительную трубку, которую подарилъ принцу Морицу Нассаускому.

По другимъ свѣдѣніямъ сынъ математика Адріана Метіуса сдѣлалъ это открытіе такъ же случайно въ игрѣ, какъ и дѣти Захарія Янсена.

Другіе источники заходятъ еще глубже въ старину и упоминаютъ о портретѣ Птоломея Клавдія (13 ст.), на которомъ онъ изображенъ смотрящимъ на звѣзды въ трубу, которая состоитъ изъ нѣсколькихъ передвижныхъ частей; это указываетъ, что открытіе должно было быть сдѣлано уже шесть столѣтій тому назадъ. И если понимать буквально нѣкоторыя выраженія Роджера Бекона (1214—1294 г.), то это указаніе можно пожалуй считать вѣроятнымъ, хотя его намеки слишкомъ кратки и неясны, чтобъ на нихъ вполнѣ положиться. И такъ какъ въ сочиненіяхъ его современниковъ и послѣдователей нельзя найти ничего, что бы указывало на давнишнее существованіе зрительной трубки, между тѣмъ какъ въ началѣ 17-го вѣка новое открытіе обратило на себя всеобщее вниманіе, то мы съ достаточной увѣренностью можемъ отнести изобрѣтеніе зрительной трубы къ этому послѣднему именно времени.

Наиболѣе точныя свѣдѣнія относительно этого открытія собралъ въ новѣйшее время проф. Гартингъ, и въ дальнѣйшемъ изложеніи мы будемъ пользоваться его указаніями.

Первое достовѣрное свѣдѣніе о зрительной трубѣ находится въ постановленіи одного голландскаго учрежденія отъ 2 октября 1608 г. Во время испано-нидерландскихъ войнъ этому государственному учрежденію былъ представленъ нѣкимъ Гансомъ Липперсгеймомъ, родившимся въ Везелѣ и проживавшимъ въ Миддельбургѣ, „инструментъ для смотрѣнія вдаль“. Такъ какъ этотъ инструментъ могъ быть полезенъ въ военномъ дѣлѣ, изобрѣтатель просилъ назначить ему привилегію на 30 лѣтъ или пенсію, причемъ обѣщалъ держать свое изобрѣтеніе въ тайнѣ.

Согласно упомянутой резолюціи назначалась испытательная комиссія, и затѣмъ въ видѣ пробы было поручено изобрѣтателю сдѣлать такой инструментъ съ чечевицами изъ горнаго хрусталя и притомъ одновременно для обоихъ глазъ. Липперсгеймъ, кажется, исполнилъ это порученіе, но просимой привилегіи не получилъ, такъ какъ около этого времени, 17 окт. 1608 г., Яковъ Адріанъ Меціусъ выступилъ съ подобнымъ ходатайствомъ за такое же, якобы имъ сдѣланное изобрѣтеніе. Въ виду того, что одно и то же изобрѣтеніе было извѣстно уже двумъ лицамъ, исключительное право на него ничѣмъ не гарантировалось, и былъ открытъ свободный путь конкуренціи.

Повидимому нельзя разобраться въ томъ, былъ ли Меціусъ наведенъ на мысль о зрительной трубѣ только изобрѣтеніемъ Липперсгейма, не познакомился ли онъ съ ея устройствомъ какимъ-либо тайнымъ путемъ, или же онъ сдѣлалъ ее уже раньше, самостоятельно, но, какъ человѣкъ замкнутый и скрытный, не разглашалъ о ней до тѣхъ поръ, пока не выступилъ публично оптикъ. Достаточно того, что Меціусъ выступилъ позже, и поэтому первымъ изобрѣтателемъ исторія зоветъ миддельбургскаго оптика Ивана Липперсгейма.

Вмѣстѣ съ этимъ должно отвернуть и всѣ, сдѣланныя съ другихъ сторонъ притязанія на честь первенства; конечно иныя изъ этихъ притязаній, при взвѣшиваніи обстоятельствъ, теряютъ сами свою силу. Такъ лишается своей славы извѣстный Крепи изъ Седана, многими признаваемый за изобрѣтателя зрительной трубы; повидимому достовѣрно, что его свѣдѣнія въ изготовленіи пріобрѣтены имъ не прямымъ путемъ. Именно, 28 дек. 1608 г. Жоаннинъ, тогдашній французскій посолъ при голландскомъ дворѣ, пишетъ къ королю Генриху IV и къ Сулли о новомъ изобрѣтеніи, отъ котораго имъ ожидается большая польза на войнѣ. Онъ уже обращался, хотя и тщетно, къ Липперсгейму, съ цѣлью получить отъ него зрительную трубу. Только при посредствѣ правительства, которое не хотѣло покупать изобрѣтенія, онъ получилъ для короля двѣ зрительныя трубы и послалъ ихъ во Францію вмѣстѣ со своими письмами чрезъ одного французскаго солдата. Выборъ же палъ на этого солдата потому, что, какъ узналъ объ этомъ Жоаннинъ, солдатъ, имѣя большую сноровку въ механическомъ искусствѣ, подслушалъ у изобрѣтателя относительно способа изготовленія зрительныхъ трубъ, и теперь самъ могъ подражать.

Въ высшей степени вѣроятно, что Крепи не только тождественъ съ этимъ солдатомъ, но что онъ есть тотъ самый французъ, который въ маѣ 1609 г. пришелъ въ Миланъ и передалъ графу де Фуентесъ зрительную трубу; ее увидѣлъ случайно извѣстный Сиртурусъ и тотчасъ же отправился въ Венецію съ цѣлью купить тамъ стекло и собрать подобный инструментъ.

Въ іюнѣ 1609 г. Галилей былъ въ Венеціи и слышалъ о зрительной трубѣ. Въ это время кардиналъ Боргезе уже имѣлъ одинъ экземпляръ ея, присланный изъ Фландріи. Поэтому Галилей имѣлъ случай осмотромъ удостовѣриться въ ея устройствѣ и дѣйствіи. Но осматривалъ ли онъ ее или нѣтъ, это подлежитъ сомнѣнію, да и не имѣетъ въ сущности большого значенія. Ибо съ одной стороны слава великаго Пизанца нисколько не увеличивается, если въ самомъ дѣлѣ онъ устроилъ зрительную трубу единственно потому, что слышалъ о дѣйствіи соединенныхъ чечевицъ, какъ передаютъ о томъ нѣкоторые его біографы; съ другой стороны не сокрушится ни одинъ листъ лавровъ его истиннаго величія тѣмъ, что будто первую изъ своихъ зрительныхъ трубъ, поднесенную имъ 29 августа 1609 г. венеціанскому дожу, онъ собралъ послѣ подробнаго ознакомленія съ устройствомъ голландскихъ инструментовъ, если, слѣд., онъ не изобрѣлъ ея, но только скопировалъ.

Впрочемъ къ этому времени зрительныя трубы появились уже въ торговлѣ въ Голландіи, Англіи и Германіи. Въ 1608 г. на осенней ярмаркѣ

во Франкфуртѣ-на-Майнѣ впервые одинъ ея экземпляръ продавался какимъ-то нидерландцемъ, а спустя годъ въ Лондонѣ ихъ было такъ много, что покупатели выбирали. Скоро, какъ кажется, и въ Нюрнбергѣ стали ихъ выдѣлывать въ большомъ количествѣ, а въ Италіи тѣ высокія цѣны, которыя Галилей получалъ за свои инструменты (1000 гульденовъ за каждый), соблазнили оптиковъ приняться за изготовленіе этихъ приборовъ. Высокопоставленные любители и ревнители наукъ, въ числѣ которыхъ въ то время было больше, чѣмъ теперь, самобытныхъ тружениковъ, сами шлифовали себѣ стекла. Такъ, вскорѣ послѣ того, какъ Галилей устроилъ первую зрительную трубу, основатель академіи dei Lincei въ Римѣ[1], князь Федериго Чези приготовилъ зрительное стекло и, по совѣту превосходнаго грециста Ивана Демисціануса, назвалъ по-гречески телескопомъ.

Этимъ именемъ мы заканчиваемъ краткій исторический обзоръ. Но, спроситъ иной, что же Захарій Янсенъ? — также оптикъ, также въ Миддельбургѣ: вѣдь до сихъ поръ всѣ считали его за изобрѣтателя зрительной трубы, и за него такъ рѣшительно стоялъ его соотечественникъ Бореель, лейбъ-медикъ при дворѣ Людовика XIV? Изъ судебныхъ слѣдствій, которыя были произведены по распоряженію Борееля въ первой половинѣ XVII столѣтія въ Миддельбургѣ, и результаты которыхъ были письменно обработаны нѣкимъ Борелемъ, котораго не слѣдуетъ смѣшивать съ названнымъ лейбъ-медикомъ, выходитъ, что Янсенъ вѣроятно не имѣетъ никакого отношенія къ изобрѣтенію зрительной трубы, но что онъ достоинъ нисколько не меньшаго уваженія потомства, нежели его товарищъ Липперсгеймъ, называвшійся тамъ Лаппрей; мы обязаны ему подобнымъ же, именно изобрѣтеніемъ микроскопа, говорить о которомъ будемъ имѣть случай въ слѣдующей главѣ. Здѣсь не мѣсто изслѣдовать, насколько общъ корень идей обоихъ инструментовъ, и насколько основывался на немъ Липперсгеймъ, пришедшій къ своему открытію позже Янсена (быть-можетъ, уже въ 1590 г.).

Прежде всего мы разсмотримъ зрительную трубу, такъ какъ ея устройство проще микроскопа, и знакомство съ ней облегчитъ намъ пониманіе болѣе сложнаго прибора.

Устройство зрительной трубы. Зрительная труба, какъ и микроскопъ, есть соединеніе двухъ чечевицъ или системъ изъ чечевицъ, оптическія оси которыхъ лежатъ на одной прямой линіи. Одна изъ чечевицъ, объективъ, обращается къ наблюдаемому предмету; онъ воспринимаетъ идущіе отъ предмета свѣтовые лучи и соединяетъ ихъ въ нѣкоторой точкѣ на оси въ обратное уменьшенное, дѣйствительное изображеніе; другая чечевица, окуляръ, служитъ для разсматриванія изображенія и поэтому находится между изображеніемъ и глазомъ.

Въ зеркальныхъ телескопахъ, объ устройствѣ которыхъ будетъ потомъ говориться подробнѣе, объективъ замѣненъ вогнутымъ зеркаломъ, которое аналогично чечевицѣ объектива даетъ обратное уменьшенное дѣйствительное изображеніе разсматриваемаго предмета.

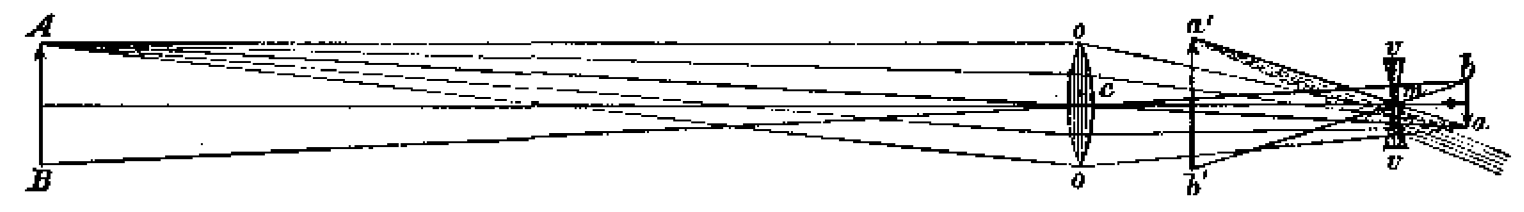
Чечевицы находятся въ трубѣ, зачерненной внутри и состоящей изъ нѣсколькихъ выдвижныхъ частей. Чрезъ это окуляръ можетъ быть приближенъ къ изображенію на любое разстояніе, смотря по потребности различныхъ глазъ.

---

[1] Accademia dei Lincei основана въ 1603 г., преобразована въ 1870 г. и въ 1883 г. названа Академіей Наукъ. Князь Чези былъ любитель науки и на собственныя средства основалъ академію, носившую странное имя Accademia dei Lincei, т.-е. Академія Рысей, въ намекъ на считающееся острымъ зрѣніе рыси, которое вѣроятно академики поставили въ научныхъ вещахъ цѣлью своихъ желаній. Галилей былъ членомъ этой академіи и весьма скоро имѣлъ случай доказать свои рысьи качества, если и не изобрѣтеніемъ микроскопа, то изготовленіемъ перваго такого инструмента въ Италіи.

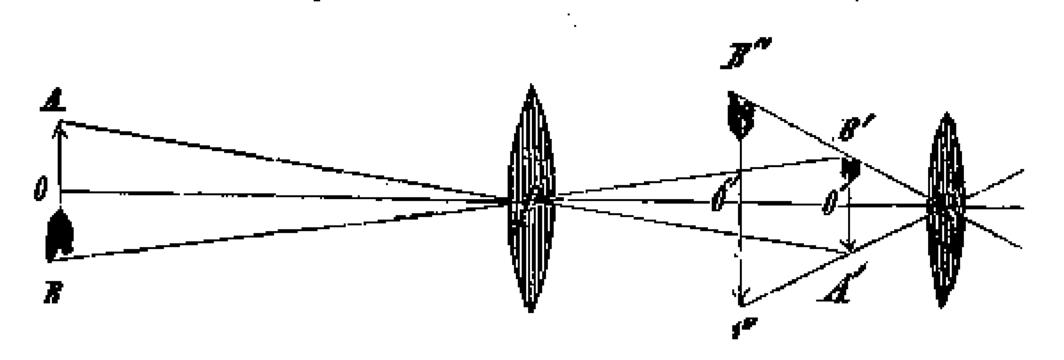
Различные виды зрительныхъ трубъ отличаются другъ отъ друга различнымъ устройствомъ ихъ окуляровъ.

Голландская или зрительная труба Галилея; первоначальная конструкція представлена на рис. 457. Лучи, идущіе отъ предмета AB, преломляются въ объективѣ oo и, прежде чѣмъ соединиться въ обратное уменьшенное дѣйствительное изображеніе ab, встрѣчаютъ окуляръ vv, состоящій изъ одной двояковогнутой чечевицы. Послѣдній удаленъ отъ ab нѣсколько болѣе своего главнаго фокуснаго разстоянія, такъ что лучи, сходящіеся въ одну изъ точекъ изображенія ab, послѣ прохожденія чрезъ окуляръ, становятся расходящимися, какъ-будто бы они шли отъ нѣкоторой точки, лежащей передъ окуляромъ; напр., лучи, идущіе отъ точки A, послѣ прохожденія черезъ объективъ oo,



457. Голландская зрительная труба.

сходятся въ точку a; но, будучи приняты окуляромъ vv, они преломляются въ немъ такъ, что кажутся выходящими изъ точки a', лежащей отъ vv далѣе, чѣмъ a. Такое простое устройство представляетъ большую выгоду тѣмъ, что позволяетъ примѣнять весьма короткія трубки, и поэтому оно употребляется и теперь особенно въ тѣхъ инструментахъ, отъ которыхъ требуется удобство обращенія съ ними. Конечно нельзя далеко гнаться за увеличеніемъ въ совершенно короткихъ трубкахъ безъ ущерба рѣзкости изображенія; поэтому подобныя зрительныя трубы обыкновенно даютъ только незначительное увеличеніе (въ 20—30 разъ, театральныя трубы въ 2—3 раза). Увеличеніе голландской зрительной трубы очень легко опредѣлить по главнымъ фокуснымъ разстояніямъ объектива и окуляра. Безъ зрительной трубы предметъ казался бы подъ угломъ $AcB=acb$. При разсматриваніи его въ зрительную трубу (въ предположеніи, что нашъ глазъ находится въ оптическомъ центрѣ m окуляра) онъ кажется подъ угломъ $a'mb'=amb$. Поэтому отношеніе этихъ двухъ угловъ дастъ увеличеніе. При достаточномъ удаленіи предмета разстояніе между изображеніемъ ab и объективомъ приблизительно равно фокусному разстоянію f, а между изображеніемъ и окуляромъ нѣсколько больше фокуснаго разстоянія f' послѣдняго. Слѣд. имѣетъ мѣсто приближенное отношеніе $bca : bma = f' : f$, и если положить $bca = 1$ то $bma = \frac{f}{f'}$, т.-е. увеличеніе есть отношеніе главнаго фокуснаго разстоянія объектива къ главному фокусному разстоянію окуляра. Впрочемъ уже въ 1618 г. Галилей устроилъ инструментъ для двухъ глазъ, подобный нашему оперному биноклю, и поэтому можно считать его также изобрѣтателемъ этого бинокля.



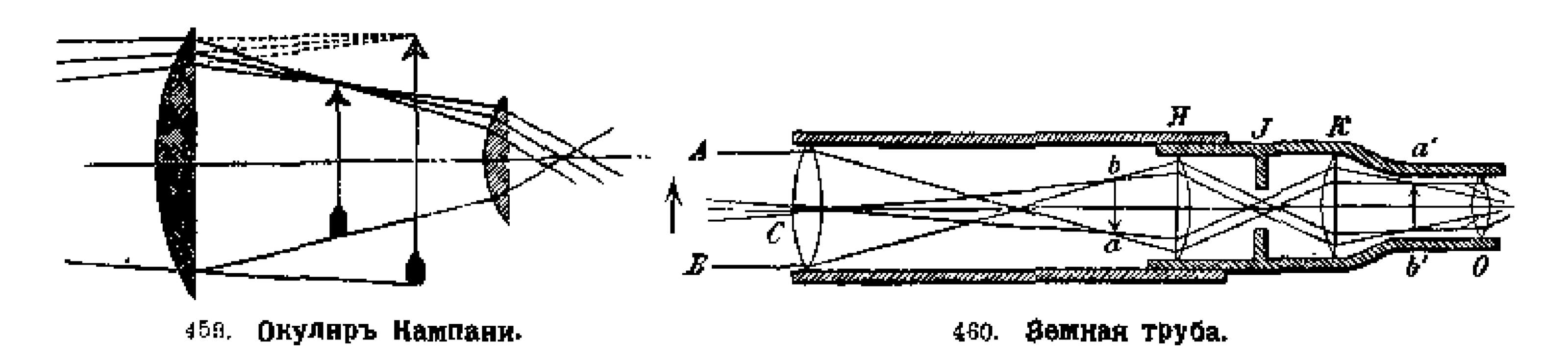
458. Принципъ зрительной трубы Кеплера.

Астрономическая или Кеплерова зрительная труба. Первое научное объясненіе тѣхъ принциповъ, на которыхъ основывается дѣйствіе зрительной трубы, дано Иваномъ Кеплеромъ; онъ изобрѣлъ носящую его имя астрономическую зрительную трубу, отличающуюся отъ голландской тѣмъ, что въ ней (см. рис. 458) лучи, послѣ прохожденія черезъ двояковы-

пуклую чечевицу C, на самомъ дѣлѣ даютъ дѣйствительное изображеніе $A'B'$, которое разсматривается черезъ окуляръ C' ($A''B''$). Слѣд., окуляромъ служитъ здѣсь не двояковогнутая чечевица, какъ въ голландской трубѣ, а двояковыпуклая, дѣйствующая на подобіе лупы.

Такъ какъ даваемое объективомъ обратное, дѣйствительное изображеніе, при разсматриваніи черезъ окулярную чечевицу, не обращается, то въ трубѣ Кеплера всѣ предметы кажутся перевернутыми; поэтому она годится только для наблюденія свѣтилъ, гдѣ обратное положеніе изображенія не имѣетъ никакого значенія. Въ болѣе точныхъ инструментахъ, въ томъ мѣстѣ, гдѣ образуется дѣйствительное изображеніе, натягиваются перекрестныя нити изъ паутины для того, чтобы возможно было замѣчать малыя измѣненія въ положеніи наблюдаемаго свѣтила.

Между окуляромъ и объективомъ часто вставляется еще третья чечевица, такъ называемое собирательное стекло. Оно принадлежитъ собственно объективу и имѣетъ цѣлью дѣлать лучи, до того, какъ они соединяются въ изображеніе, болѣе сходящимися; поэтому стекло это лежитъ между изображеніемъ и объективомъ. Обыкновенно оно помѣщается въ одну трубку съ окуляромъ. Это соединеніе раньше употреблялось Гюйгенсомъ



459. Окуляръ Кампани. 460. Земная труба.

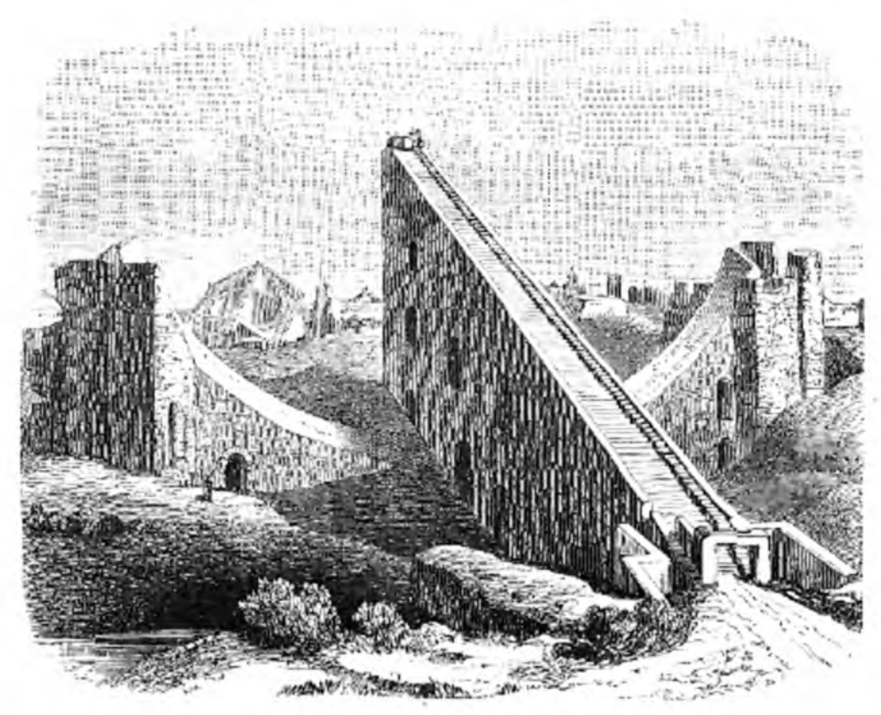
для зрительныхъ трубъ, а потомъ Кампани для микроскопа и извѣстно подъ именемъ окуляра Кампани (см. рис. 459).

Земная труба. Чтобы сдѣлать трубу Кеплера удобною для разсматриванія земныхъ предметовъ, слѣдуетъ, какъ уже замѣтилъ ея изобрѣтатель, помѣстить передъ окуляромъ еще третью чечевицу для обращенія изображенія. Но такое устройство неупотребительно; Рейта располагалъ стекла въ земной трубѣ такимъ образомъ, какъ показываетъ рис. 460. AB наблюдаемый предметъ, ba его дѣйствительное изображеніе, получаемое отъ объективной чечевицы, чечевицы H и K перевертываютъ изображеніе, притомъ K есть собирательное стекло; O окуляръ, при разсматриваніи въ который изображеніе $a'b'$ кажется увеличеннымъ. Въ новѣйшихъ инструментахъ чечевица H снова замѣнена двумя, изъ которыхъ одна дѣйствуетъ, какъ слабая собирательная чечевица.

Дальнѣйшее устройство различныхъ типовъ зрительныхъ трубъ, насколько дѣло идетъ о чечевицахъ, почти одно и то же. Внутри трубъ тамъ, гдѣ лучи пересѣкаютъ ось, помѣщаются діафрагмы съ цѣлью устранить всякій посторонній и отраженный свѣтъ, который можетъ вредить отчетливости изображеній. Въ астрономическихъ трубахъ это не такъ необходимо, потому что здѣсь не можетъ попадать никакого свѣта, кромѣ какъ отъ наблюдаемаго предмета.

Увеличеніе астрономической и земной трубы опредѣляется, подобно голландской зрительной трубѣ, отношеніемъ фокуснаго разстоянія объектива къ фокусному разстоянію окуляра. Потому вопросъ о приготовленіи чечевицъ съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ есть главный вопросъ оптики, и короткія голландскія трубы, въ родѣ полевой подзорной трубы и театральнаго бинокля, помимо своего малаго поля зрѣнія (вслѣдствіе расходящихся лучей).

обладаютъ также и ничтожнымъ увеличенiемъ, какъ уже о томъ упоминалось. Напротивъ астрономическiя зрительныя трубы достигаютъ значительныхъ размѣровъ; необыкновенная точность установки и совершенно особыя приспособленiя требуютъ, для того, чтобы оптическiя оси чечевицъ всегда совпадали, *по возможности точнаго устройства; притомъ инструментъ долженъ* быть легко подвижнымъ для того, чтобы онъ могъ безъ сотрясенiй слѣдовать за движенiемъ звѣзды. Кромѣ того при точномъ измѣренiи дѣлаются еще приспособленiя, помощью которыхъ можно опредѣлять положенiя оси трубы въ горизонтальной и вертикальной плоскости, дѣлать поправки, измѣрять углы и т. д., такъ что такой инструментъ со всѣми своими принадлежностями



461. Обсерваторiя браминовъ въ Дельги.

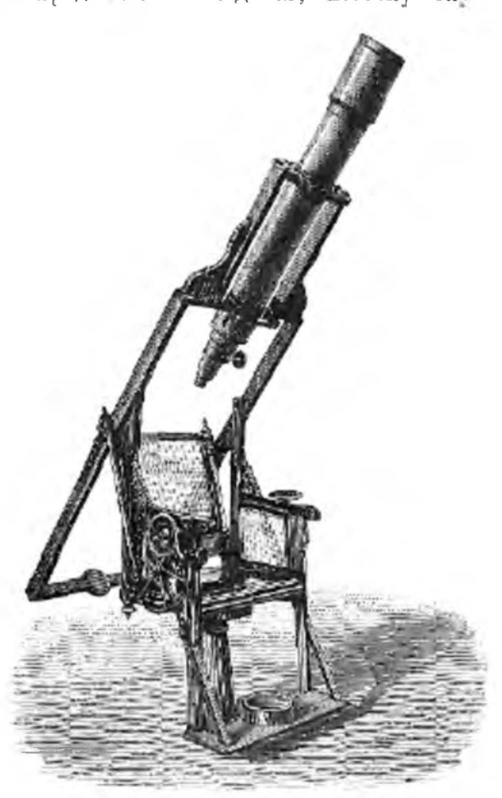
въ высшей степени сложенъ и при совершенномъ выполненiи представляетъ изъ себя величайшее произведенiе механическаго искусства.

Не только астрономiя и геодезiя, которымъ телескопъ съ самаго начала служилъ для изслѣдованiя неба и земли, для опредѣленiя движенiя, величины, массы и природы свѣтилъ, но и всѣ отрасли естественной науки, для которыхъ съ теченiемъ времени зрительная труба стала однимъ изъ самыхъ важныхъ и превосходныхъ физическихъ наблюдательныхъ и измѣрительныхъ инструментовъ, содѣйствовали въ свою очередь постепенному усовершенствованiю зрительныхъ трубъ.

Для увеличенiя изображенiй можно поступать двояко: или увеличивать фокусное разстоянiе объектива, или уменьшать фокусное разстоянiе окуляра. Послѣднiй путь, до открытiя законовъ ахроматизма и искусства уничтожать соотвѣтственнымъ сочетанiемъ чечевицъ окрашиванiе, былъ весьма ограниченъ, и для достиженiя большихъ увеличенiй ничего не оставалось, какъ примѣнять въ качествѣ объективовъ чечевицы съ большимъ фокуснымъ разстоянiемъ. Но устройство ихъ въ равной мѣрѣ затруднялось тѣмъ обстоя-

тельствомъ, что трубы, въ которыя помѣщались чечевицы, должны были имѣть длину, соотвѣтствующую фокусному разстоянію, и вслѣдствіе этого достигали слишкомъ значительнаго вѣса для того, чтобы можно было обращаться съ ними съ необходимой легкостью, и кромѣ того, съ увеличеніемъ длины трубъ возрастала опасность ихъ искривленія, что гораздо еще хуже.

Правда, прибѣгали къ вспомогательному средству и совершенно удаляли среднюю часть трубы, служащую только какъ діафрагма, а короткая труба съ объективомъ закрѣплялась въ нѣкоторомъ мѣстѣ такъ, что могла быть легко направлена на соотвѣтствующіе предметы наблюденія; поэтому окуляры можно было помѣщать въ большомъ разстояніи отъ объектива. Гюйгенсъ, кажется, первый пользовался такой воздушной зрительной трубой, около 1684 г. Еще въ первыхъ десятилѣтіяхъ XVII столѣтія на обсерваторіи въ Дельги (рис. 461), своеобразная постройка которой обусловливалась единственно такимъ способомъ установки, брамины употребляли въ своихъ наблюденіяхъ подобныя зрительныя трубы. Каменныя стѣны, около 30 м. высоты, служили мѣстомъ прикрѣпленія объектива, тогда какъ окуляръ ставился, смотря по положенію свѣтила, направо или налѣво отъ объектива выше или ниже на возвышающейся по кривой линіи лѣстницѣ. На нашемъ рисункѣ этой лѣстницы нѣтъ. Индійскія постройки для наблюденій, которыхъ видно на нашемъ рисункѣ двѣ, и изъ которыхъ одна еще сохранилась въ Бенаресѣ, въ сущности служили гномонами. Днемъ ими пользовались какъ солнечными часами, причемъ тѣнь отъ края средней стѣны, параллельнаго земной оси, указывала (солнечное) время на цилиндрической, раздѣленной на часы и минуты, стѣнѣ, которая видна ясно на рисункѣ. Ночью съ отдѣльныхъ точекъ этого цилиндра наблюдались восхожденія звѣздъ надъ краемъ стѣны. Построенные въ Дельги одинъ возлѣ другого два гигантскихъ инструмента (сооруженные Джаемъ Синги, около 1730 г.) давали возможность дѣлать независимыя, другъ друга повѣряющія, измѣренія. Длина ребра средней стѣны у того гномона, который представленъ на переднемъ планѣ, не менѣе 118 англ. фут. Дѣленіе на градусы столь крупное, что одинъ градусъ занимаетъ по дугѣ приблизительно одинъ футъ; градусы подраздѣлены на шестыя части.

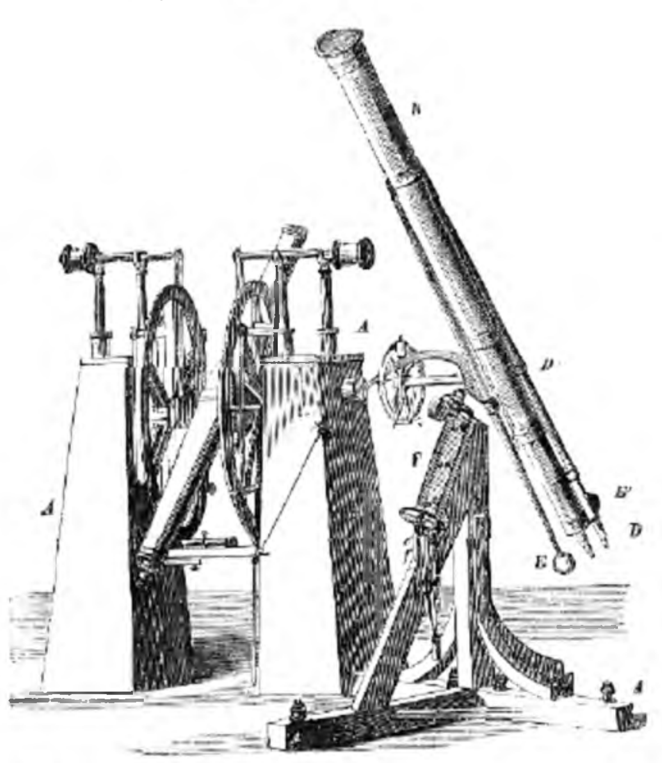


462. Искатель кометъ Мерца.

Воздушныя трубы были грубы и исполняли свое назначеніе только до тѣхъ поръ, пока не было извѣстно ничего лучшаго. Но, когда Картезіусъ и Гюйгенсъ изслѣдовали подробнѣе явленія преломленія свѣта, когда вполнѣ развилась теорія зрительной трубы, и Эйлеръ доказалъ возможность составлять ахроматическія чечевицы, а старшій Доллондъ въ дѣй-

ствительности сдѣлалъ первыя ахроматическія зрительныя трубы, тогда бросили старые методы и стали пользоваться при устройствѣ зрительныхъ трубъ сдѣланными наукой и достаточно подтвержденными практикой открытіями.

Къ этому времени относится переворотъ въ практической оптикѣ, которой много содѣйствовали химія, — производствомъ болѣе пригодныхъ сортовъ стекла, — и механика, такъ же, какъ и наоборотъ, на механику сильно вліяли успѣхи оптики; въ лицѣ Фраунгофера, Штейнгейля и Мерца практическая оптика достигла въ то время высшей точки совершенства. Съ 1812 года зрительныя трубы съ ахроматическими чечевицами, до тѣхъ поръ еще имѣвшія могущественныхъ соперниковъ въ зеркальныхъ телескопахъ, почти совсѣмъ вытѣснили послѣдніе.



463. Репсольдовскій полуденный кругъ и фраунгоферовскій рефракторъ въ Юрьевѣ.

Рис. 462 представляетъ искатель кометъ Мерца, составляющій собственность барона фонъ-Энгельгардта въ Дрезденѣ. У инструмента новая и мало извѣстная, но очень удобная установка, именно на стулѣ. Окуляръ находится въ точкѣ пересѣченія оптической оси съ горизонтальной осью вращенія рамы съ зрительной трубой; вслѣдствіе этого тѣло и голова наблюдателя остаются всегда въ неизмѣнномъ положеніи, каковы бы ни были азимутъ и высота разсматриваемаго свѣтила. Мелкое движеніе рамы съ зрительной трубой производится помощью находящейся слѣва системы зубчатыхъ колесъ съ рукояткой. Другая система, которая прикрѣплена справа и на рисункѣ видна только частью, управляетъ движеніемъ стула.

Не входя въ подробное описаніе инструментовъ, употребляемыхъ на обсерваторіяхъ, мы опишемъ вкратцѣ большой фраунгоферовскій рефракторъ юрьевской обсерваторіи и репсольдовскій полуденный кругъ въ Пулковѣ, изображенные одинъ подлѣ другого на рис. 493; затѣмъ мы ограничимся тѣмъ, что приведемъ точные рисунки самыхъ извѣстныхъ инструментовъ.

Объективное стекло фраунгоферовскаго рефрактора, дающаго увеличеніе въ 1420 разъ, имѣетъ поперечникъ въ 24,5 сантим. и фокусное разстояніе въ 4,3 метра; труба B приблизительно такой же длины. EE' противовѣсы, которые частью служатъ для того, чтобы избѣжать прогибовъ трубы, частью же возстановляютъ равновѣсіе при различныхъ ея положеніяхъ и такимъ образомъ позволяютъ передвигать трубу съ возможно незначительнымъ напряженіемъ силъ. Такъ какъ *большой трубѣ соотвѣтствуетъ малое поле зрѣ-*

нія, то около нея находится меньшій, ей параллельный, такъ называемый искатель DD', которымъ можно обозрѣвать значительно бо́льшую часть неба, и которымъ пользуются для приведенія наблюдаемыхъ звѣздъ въ поле зрѣнія большого инструмента. Штативъ A, на которомъ покоится весь приборъ, крѣпко привинченъ къ полу наблюдательной комнаты и снабженъ осью F, параллельной оси міра; на этой оси находится часовой механизмъ efg, вращающій зрительную трубу такъ, что она слѣдуетъ за движеніемъ свѣтила, которое, слѣд., всегда остается въ полѣ звѣнія. У юрьевскаго инструмента движеніе это настолько совершенно, что разъ инструментъ установленъ на наблюдаемую звѣзду, послѣдняя кажется неподвижно стоящею на серединѣ перекрестныхъ нитей.

Другой инструментъ, изображенный на лѣвой сторонѣ рис. 463, есть такъ называемая полуденная труба или пассажный инструментъ; онъ служитъ для наблюденія полярнаго разстоянія звѣздъ въ моментъ ихъ прохожденія черезъ меридіанъ обсерваторіи. Полуденная труба опирается на гранитные устои AA и при помощи особаго приспособленія перевертывается такъ, что объективъ обращается въ противоположную сторону, и, слѣд., небесный сводъ можно разсматривать какъ въ сѣверномъ, такъ и въ южномъ направленіи. Такъ какъ дѣло идетъ объ опредѣленіи момента прохожденія свѣтила черезъ полуденный кругъ, то установка должна быть таковой, чтобы вертикальная плоскость, въ которой движется труба, въ точности совпадала съ плоскостью меридіана. Время прохожденія звѣзды черезъ меридіанъ опредѣляется по астрономическимъ часамъ, которые регулируются наблюденіемъ послѣдовательныхъ прохожденій центра солнца черезъ пересѣченіе перекрестныхъ нитей зрительной трубы. Два большихъ круга по сторонамъ трубы служатъ для точнаго измѣренія прямого восхожденія свѣтила. Они тщательно раздѣлены на градусы, минуты и секунды и вращаются мимо неподвижнаго указателя. Разъ инструментъ точно наведенъ и свѣтило на перекрестныхъ нитяхъ, на кругахъ помощью лупы отсчитывается соотвѣтствующій уголъ. Для горизонтальной установки инструмента въ нѣкоторыхъ мѣстахъ находятся уровни. Увеличеніе около 245 разъ.

Установка полуденныхъ трубъ или пассажныхъ инструментовъ долгое время представляла вѣрный и единственный способъ оріентироваться въ меридіанахъ. Но съ постепеннымъ развитіемъ методовъ и усовершенствованіемъ приборовъ явилась возможность при помощи точныхъ измѣреній угловъ относить другія вертикальныя плоскости къ основной, и для этой цѣли стали дѣлать инструменты, позволяющіе въ любомъ горизонтальномъ азимутѣ производить тѣ самыя наблюденія, которыя на прежнихъ пассажныхъ инструментахъ ограничивались однимъ меридіаннымъ кругомъ.

Въ Англіи въ новѣйшее время изготовлялись очень большіе инструменты; особенное вниманіе обращаетъ на себя инструментъ викарія Крайя въ Вандсвортѣ; составныя части этого прибора поставлялъ Слаттеръ; чечевицы его, сдѣланныя въ Уйшнейдеръ-Фраунгоферовскомъ оптическомъ институтѣ въ Мюнхенѣ, до сихъ поръ не имѣютъ себѣ подобныхъ.

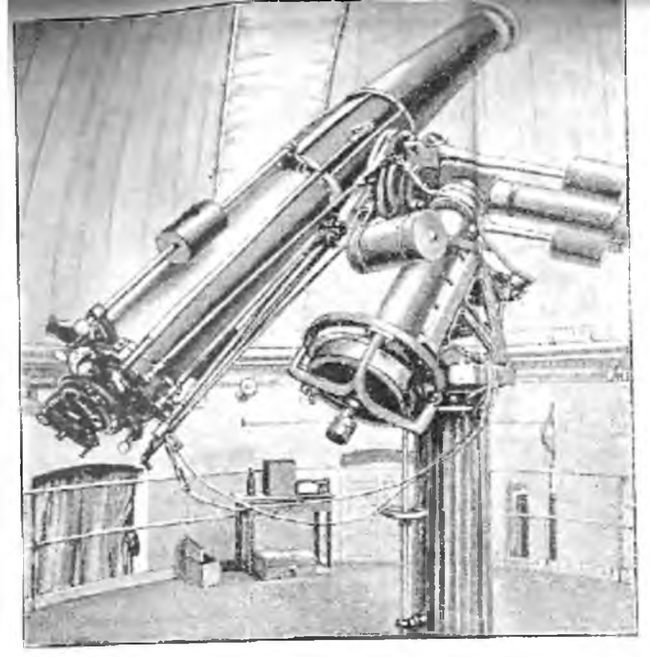
Литтрову пришла счастливая мысль, осуществленіе которой позволило достигнуть значительнаго увеличенія объектива. Именно, несравненно труднѣе готовить вполнѣ однородныя чечевицы изъ флинтгласа, нежели изъ кронгласа. Вмѣсто того, чтобы склеивать вмѣстѣ обѣ чечевицы, въ каковомъ случаѣ для большей выгоды онѣ должны имѣть одинаковый поперечникъ, Литтровъ предложилъ чечевицу изъ флинтгласа помѣщать на нѣкоторомъ разстояніи за чечевицей изъ кронгласа, и брать ее такой величины, какъ того требуетъ получаемый отъ кронгласа сходящійся пучокъ лучей. Такія зрительныя трубы приготовлялъ Плеель въ Вѣнѣ, съ 1832 г.; онѣ быстро вошли въ широкое употребленіе подъ именемъ діаметрическихъ зрительныхъ трубъ.

Въ новѣйшее время сѣверо-американцы сдѣлали значительные успѣхи въ этой области. Заведеніе оптика Альвана Кларка превзошло, въ приготовленіи гигантскихъ телескоповъ отверстіемъ до 75 см. и болѣе, Мерцовскій институтъ въ Мюнхенѣ. Вслѣдствіе преимуществъ кларковскихъ зрительныхъ трубъ русская центральная обсерваторія въ Пулковѣ, уже имѣющая превосходный рефракторъ, заказала у Кларка гигантскій инструментъ отверстіемъ въ 75 см. и съ фокуснымъ разстояніемъ въ 26,6 метровъ. Чтобы составить представленіе о чудовищныхъ размѣрахъ такой зрительной трубы, должно упомянуть, что общій вѣсъ объективнаго стекла и его оправы составляетъ приблизительно 5 центнеровъ. Другой еще бóльшій рефракторъ, объективное стекло котораго имѣетъ поперечникъ въ *95 см.*, *построенъ* Кларкомъ для обсерваторіи Лика, на горѣ Гамильтона въ Калифорніи.

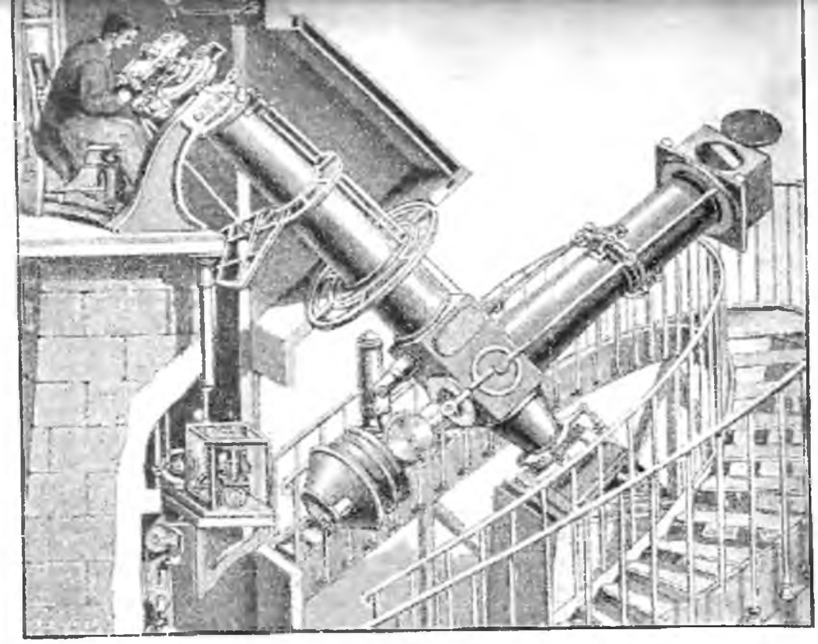


161. Ф. В. Гершель.

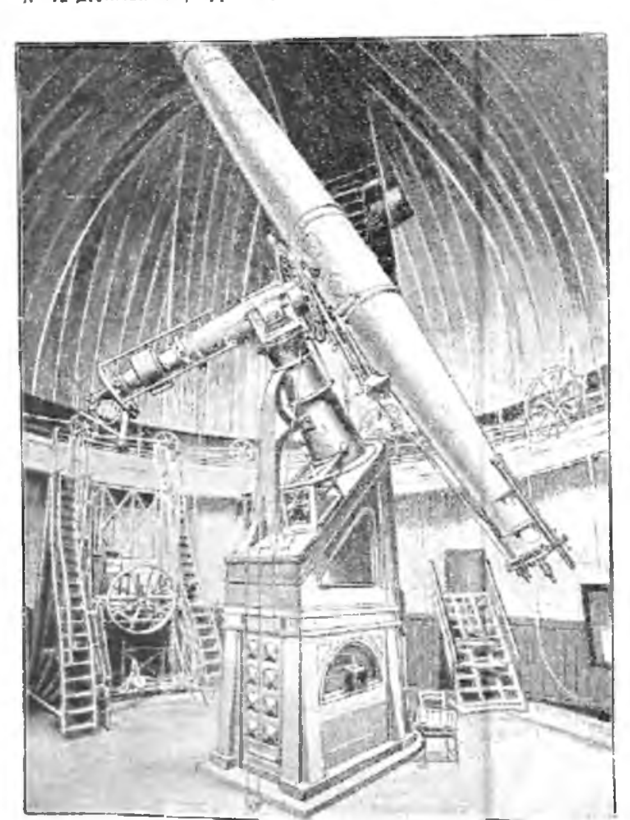
На нашей таблицѣ приведены самые знаменитые въ мірѣ рефракторы, а именно на рис. 1 двѣнадцатидюймовый рефракторъ обсерваторіи Ураніи въ Берлинѣ, на рис. 2 колѣнчатый экваторіалъ парижской обсерваторіи, на рис. 3 страссбургскій рефракторъ (18-дюйм.), на рис. 4 вѣнскій рефракторъ (27-дюйм.), на рис. 5 пулковскій рефракторъ (30-дюйм.), на рис. 6 окуляръ послѣдняго, на рис. 7 рефракторъ обсерваторіи Лика (36-дюйм.) и на рис. 8 телескопъ Иеркеса (40-дюйм.). Наконецъ на королевской обсерваторіи въ Гринвичѣ поставленъ астрономическій телескопъ, подаренный сэромъ Генрихомъ Томисономъ. Это есть скорѣе соединеніе различныхъ телескоповъ, и, вѣроятно, наисильнѣйшій изъ тѣхъ инструментовъ, которые устроивались доселѣ для астрономическихъ изслѣдованій помощью фотографіи. Новый инструментъ, въ *отношеніи какъ величины отверстія, такъ и длины фокуснаго разстоянія*, какъ-разъ вдвое больше, чѣмъ самый большой фотографическій телескопъ, который существовалъ на обсерваторіи. При установкѣ новаго телескопа были приняты всѣ мѣры предосторожности для избѣжанія всякаго движенія и сотрясенія. Среди нововведеній и улучшеній, сдѣланныхъ въ этомъ инструментѣ его строителемъ Говардомъ Группомъ, самое замѣчательное то, что полное вращеніе вокругъ полюса возможно даже тогда, когда инстру-



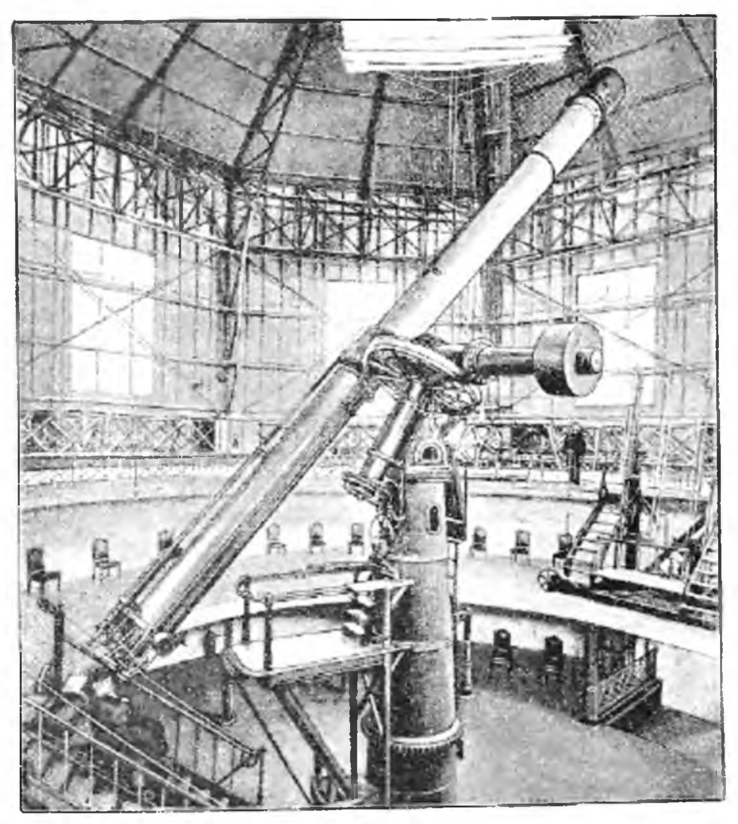
1. 12-дюймовый рефракторъ обсерваторіи „Уранія“ въ Берлинѣ.



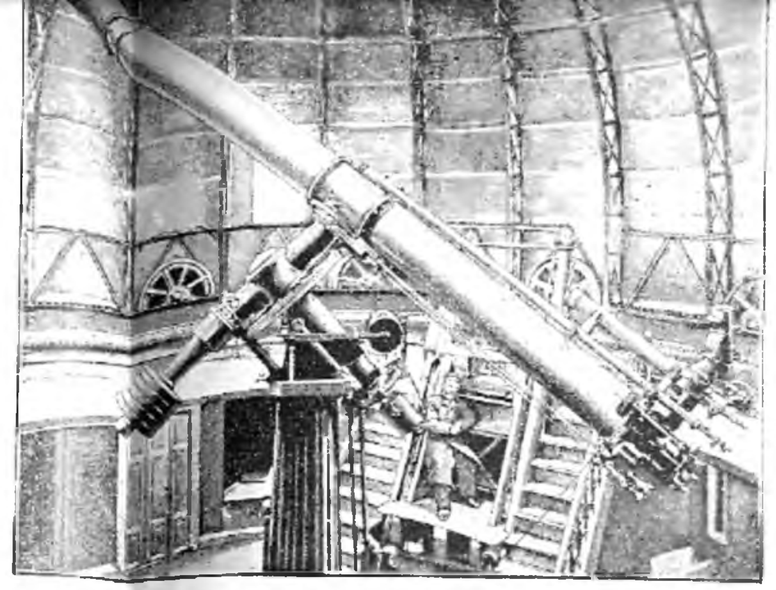
2. Экваторіалъ Парижской обсерваторіи.



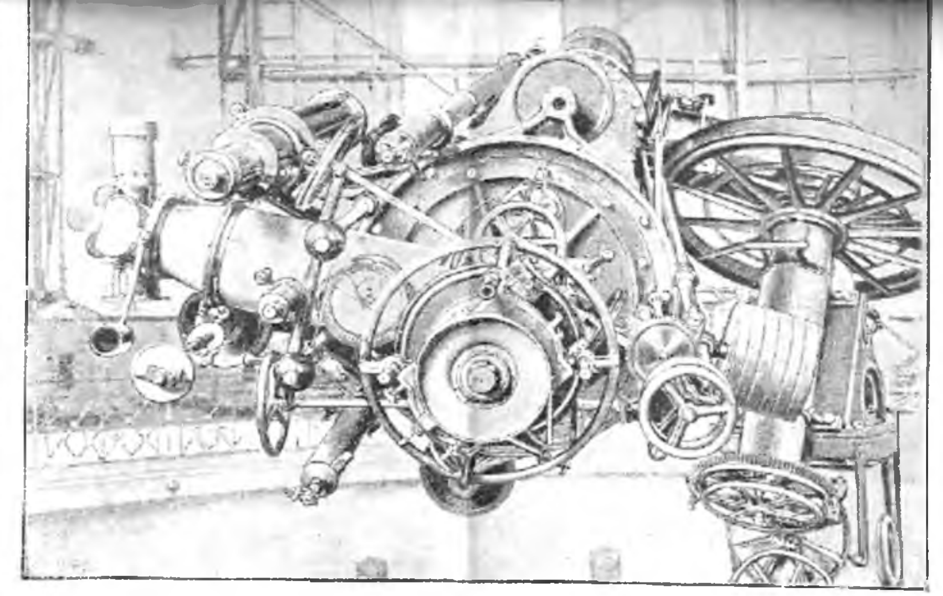
4. Вѣнскій рефракторъ.



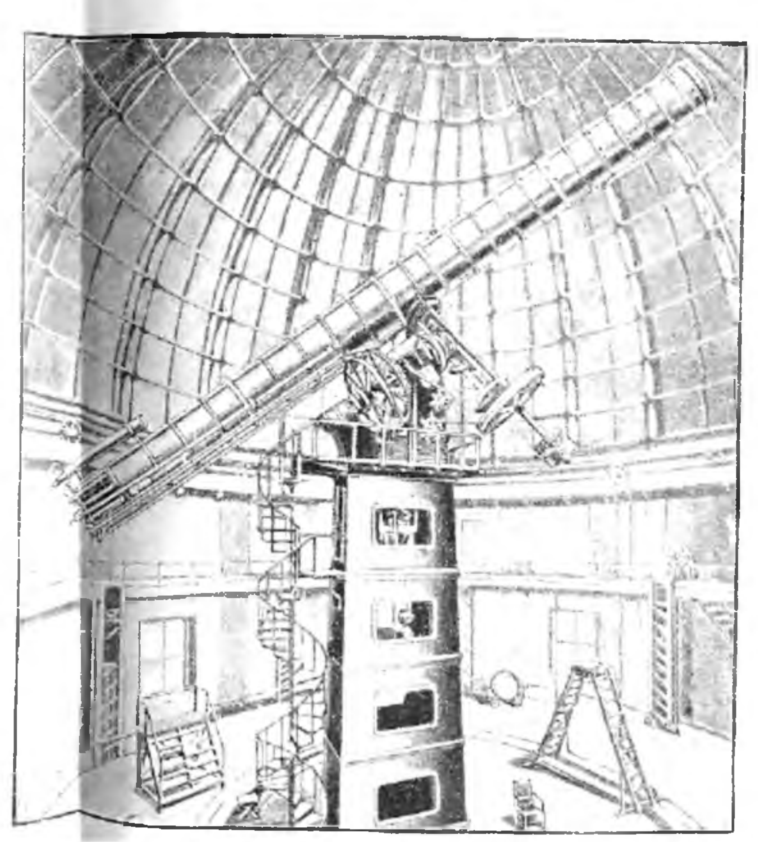
5. Пулковскій рефракторъ.



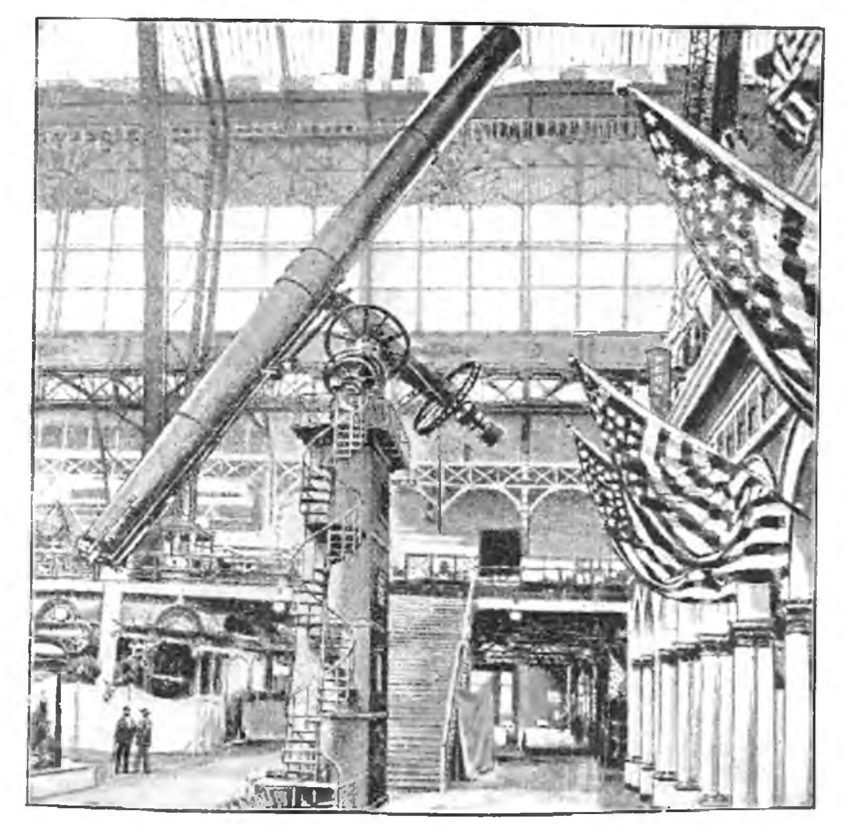
3. Рефракторъ въ Страсбургѣ.



6. Окулярная часть Пулковскаго рефрактора.



7. Рефракторъ Ликской обсерваторіи.

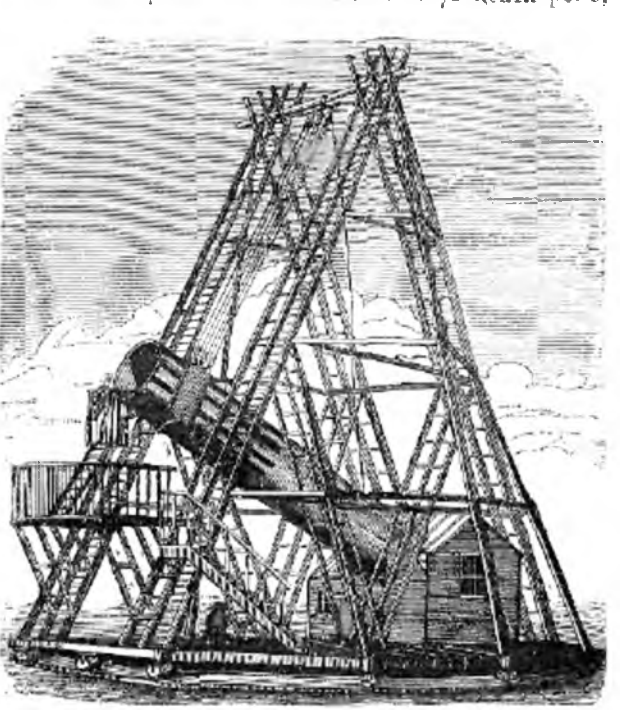


8. Телескопъ Yerkes (40 дюймовъ).

Т-во „Просвѣщеніе" въ Спб.

монтъ направленъ на полюсъ. Кромѣ того можно слѣдовать за движеніемъ звѣзды при ея прохожденіи черезъ меридіанъ и до того, пока она не исчезнетъ на горизонтѣ, не поворачивая инструмента. Часовой механизмъ, приводящій въ движеніе полярную ось, имѣетъ гирю въ 12 центнеровъ, которая опускается каждыя восемь минутъ на одинъ футъ. Гиря подымается электродвигателемъ. У новаго фотографическаго рефрактора объективное стекло въ поперечникѣ 26 англійскихъ дюймовъ, а фокусное разстояніе въ 22 фута 6 дюймовъ. Фотографическіе снимки вдвое больше размѣра астрографическихъ картъ, т.-е. они содержатъ два миллиметра на одну минуту. Инструментомъ можно пользоваться и для спектроскопическихъ цѣлей. Онъ вѣситъ 10—12 тоннъ, стекло объектива съ оправою вѣситъ около $3\frac{1}{2}$ центнеровъ, зеркало телескопа съ оправой — 5 центнеровъ.

Кромѣ рефракторовъ для астрономическихъ цѣлей, какъ уже было упомянуто, примѣняются рефлекторы или зеркальные телескопы, которые были въ употребленіи преимущественно во времена Ньютона, когда еще не удалось устранить окрашиванія изображенія въ чечевицахъ.



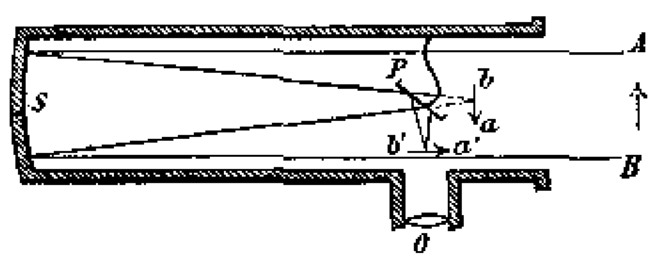
465. Гигантскій телескопъ Гершеля.

Рефлекторы или зеркальные телескопы были изобрѣтены весьма скоро послѣ зрительныхъ трубъ; кажется, іезуитскому патеру Цукки первому пришла мысль замѣнить стеклянные объективы металлическими вогнутыми зеркалами и разсматривать даваемое ими дѣйствительное изображеніе чрезъ чечевицу окуляра. Повидимому, въ 1616 г. онъ осуществилъ свою идею, фактъ тѣмъ болѣе замѣчательный, что только нѣсколькими годами позже Кеплеръ примѣнялъ въ качествѣ окуляра астрономической трубы вогнутую чечевицу. Изобрѣтеніе Цукки было извѣстно только въ Италіи. Во Франціи Мерсеннъ въ 1639 г. пытался примѣнить къ телескопамъ вогнутое зеркало, но ни здѣсь, ни въ Англіи, гдѣ надъ усовершенствованіемъ ихъ работалъ Грегори, вначалѣ не обращали вниманія на зеркальные телескопы. Самъ Ньютонъ, котораго ошибочное утвержденіе, что будто нельзя сдѣлать рефракторъ ахроматическимъ, сильно ограничивало въ этомъ направленіи надежды оптиковъ и астрономовъ, отказался отъ рефлекторовъ послѣ того, какъ сдѣлалъ собственными руками два такихъ инструмента; изъ нихъ одинъ хранится еще въ музеѣ Королевскаго Общества въ Лондонѣ и имѣетъ надпись: „Invented by Sir Isaac Newton and made with his own hands. In the year 1671“.

Зеркальные телескопы только тогда вошли въ употребленіе, когда Гадлей, Гоксеби въ Англіи и Кассегрей во Франціи научились дѣлать отличные

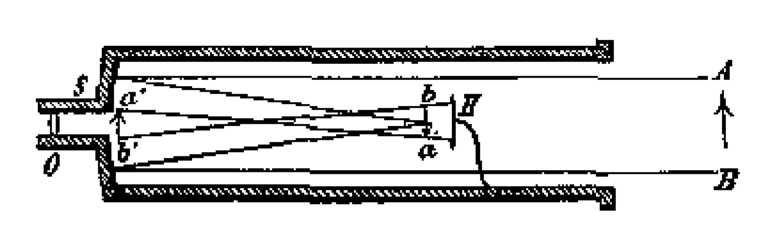
инструменты; но такъ какъ къ этому времени были сдѣланы большіе успѣхи въ изготовленіи стеклянныхъ чечевицъ, то они не нашли исключительнаго примѣненія. Въ Англіи извѣстны были зеркальные телескопы Джемса Шорта, но главнымъ образомъ тѣ гигантскіе инструменты, постройкой и примѣненіемъ которыхъ В. Гершель сдѣлался самымъ знаменитымъ оптикомъ и величайшимъ астрономомъ своего времени.

Онъ изготовилъ собственноручно большое число зеркалъ настолько совершенныхъ, что въ рефлекторахъ съ фокуснымъ разстояніемъ въ 6 метр. могъ получать увеличеніе въ 2000 разъ, безъ ущерба отчетливости изображеній. Самый большой изъ своихъ телескоповъ, постановка котораго изображена на рис. 465, онъ окончилъ въ 1789 году. Длина трубы 12 метр., поперечникъ 1,5 м., вѣсъ ея 2500 килогр. Одно зеркало вѣсило болѣе 1000 килогр.; оно давало увеличеніе въ 6400 разъ. Стоимость этого гигантскаго инструмента была приблизительно 42 000 марокъ; но деньги и трудъ не принесли ожидаемой пользы, ибо вскорѣ послѣ своей установки въ одну только сырую ночь зеркало потеряло свою прекрасную политуру. Лордъ Россъ превзошелъ этотъ гершелевскій инструментъ постройкой другого большаго, труба котораго въ 16 м. длины, зеркало въ поперечникѣ почти 2 метра и вѣсомъ свыше 3800 килогр.; общій же его вѣсъ простирается до 15 000 килогр. Онъ поставленъ въ стѣнѣ въ 20 метр. длины и 13 метр. высоты и стоилъ своему строителю до 240 000 марокъ.

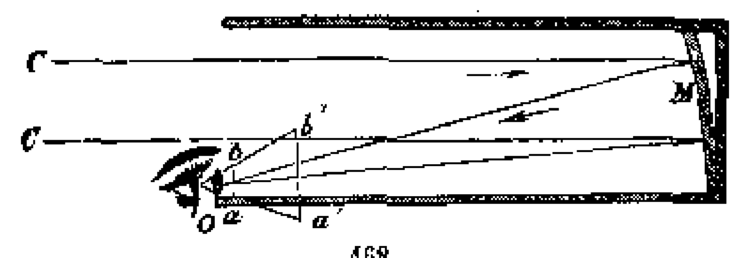


466. Зеркальный телескопъ Ньютона.

Внутреннее устройство зеркальнаго телескопа просто, и его легко понять изъ рисунковъ 466—468. Рис. 466 представляетъ разрѣзъ ньютоновскаго инструмента. Онъ состоитъ изъ большой деревянной трубы, въ од-



467. Разрѣзъ инструмента Грегори.



468. Устройство зеркальнаго телескопа Гершеля.

номъ концѣ которой лежитъ параболическое металлическое зеркало *S*. Лучи свѣта, идущіе отъ предмета *AB*, отражаются отъ него и падаютъ на маленькое, наклоненное подъ 45°, плоское зеркало *P*. Послѣднее настолько удалено отъ вогнутаго зеркала, что отраженные послѣднимъ лучи, прежде чѣмъ соединиться имъ въ дѣйствительное изображеніе *ba*, встрѣчаютъ плоское зеркало; слѣдов., изображеніе получается только въ *b'a'* и разсматривается въ помѣщенный сбоку увеличительный окуляръ *O*. Вмѣсто маленькаго плоскаго зеркала часто примѣняется призма съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ.

Болѣе старые инструменты Грегори (рис. 467, первый построенъ въ 1663 году) имѣли другое устройство. У нихъ въ серединѣ большого вогнутаго зеркала *S* сдѣлано круглое отверстіе, въ которое вставляется окулярная труба *O*. На оси находится меньшее вогнутое зеркало *H*, которое получаемое отъ большого вогнутаго зеркала *S* уменьшенное и обратное изображеніе *ba* предмета *AB* дѣлаетъ увеличеннымъ и прямымъ *a'b'*; послѣднее изображеніе разсматривается въ увеличивающій окуляръ *O*.

Самые большіе инструменты, какъ вышеупомянутый гигантскій телескопъ

Гершеля, устроены такъ, какъ показываетъ рис. 468. Наблюдатель, стоящій спиной къ предмету *CC*, разсматриваетъ черезъ увеличивающій окуляръ *O* изображеніе *ab*, даваемое нѣсколько наклоннымъ зеркаломъ *M*. Зеркальные телескопы, отодвинутые было рефракторами на задній планъ, въ новѣйшее время, какъ кажется, снова входятъ въ употребленіе, именно послѣ того, какъ Либихъ (1856) нашелъ способъ приготовлять весьма прочныя и свѣтосильныя посеребренныя зеркала. То обстоятельство, что въ нихъ отсутствуетъ вредное свѣторазсѣяніе, должно во всякомъ случаѣ сильно говорить въ ихъ пользу. Поэтому Штейнгейль предложилъ опять примѣнять посеребренныя вогнутыя зеркала, а Фуко въ Парижѣ дѣлалъ очень хорошіе инструменты, въ которыхъ маленькое плоское зеркало замѣнялось призмой съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ. Однако эти инструменты не могутъ соперничать съ рефракторами, которые постоянно совершенствуются и получаютъ большее распространеніе.

Зеркальные телескопы имѣютъ нѣчто общее съ кеплеровскими, а также и съ происходящими изъ нихъ, чрезъ введеніе выпрямляющей окулярной системы, земными трубами, именно въ нихъ дѣйствительное изображеніе получается на самомъ дѣлѣ и разсматривается въ увеличительную чечевицу. Приближеніе или удаленіе окуляра отъ изображенія, различное для различныхъ глазъ, производится передвиженіемъ входящихъ другъ въ друга частей трубы; въ обыкновенныхъ инструментахъ это дѣлается отъ руки, въ сильно увеличивающихъ, болѣе точныхъ, — помощью микрометреннаго винта.

Здѣсь должно замѣтить еще одно: относительно тѣхъ зданій, которыя служатъ для пріема и храненія зрительныхъ трубъ, именно касательно „обсерваторій“. Между простыми астрономическими помѣщеніями прежняго времени и теперешними существуетъ значительная разница. Уже выборъ мѣста для обсерваторіи теперь иной, нежели раньше, вслѣдствіе сильнаго развитія сношеній. Въ то время какъ прежде высокія мѣстности считались особенно подходящими для устройства обсерваторій, въ настоящее время главное вниманіе обращаютъ на твердость грунта, въ цѣляхъ болѣе прочной установки инструмента, а также на окружающее спокойствіе, чистоту воздуха, удаленіе отъ фабрикъ и т. д. Раньше для обсерваторій выбирали небольшія башни съ болѣе лучшимъ съ нихъ видомъ, какъ, напр., при Тихо де Браге обсерваторія Ураніенборгъ (т.-е. небесный городъ), находившаяся на островѣ Гвинъ, между Даніей и Швеціей (построена въ 1576 г.); лейпцигская обсерваторія до 1790 г. находилась также на башнѣ Плейсенбурга. Теперь, напротивъ, строятъ ихъ на низкихъ, но совершенно спокойныхъ мѣстахъ. Этой точкой зрѣнія руководствовались при постройкѣ всѣхъ новѣйшихъ обсерваторій: въ Вѣнѣ, Пулковѣ, Страссбургѣ, Потсдамѣ и т. д. Послѣдняя изъ названныхъ обсерваторій служитъ преимущественно для астрофизическихъ изслѣдованій, и поэтому кромѣ главныхъ инструментовъ, какъ рефракторъ, меридіанный кругъ, пассажный инструментъ, хронометры и т. д., въ ней особенно много спектральныхъ приборовъ, фотографическихъ и фотометрическихъ вспомогательныхъ средствъ и т. д. Въ новѣйшее время Бишоффсгеймъ въ Парижѣ великодушно пожертвовалъ сумму въ $1^1/_2$ милліона франковъ на постройку роскошной обсерваторіи въ Ниццѣ. Обсерваторія, которой постройка уже окончена, занимаетъ площадь въ 350 000 кв. метровъ. Это огромное пространство позволяетъ осуществить страстное желаніе современныхъ астрономовъ, а именно сооруженіе особыхъ строеній для каждаго изъ болѣе крупныхъ инструментовъ. Первое, что привлекаетъ нашъ взоръ, это огромный куполъ, покоющійся на четырехугольномъ, длиной въ 26 метр. каменномъ строеніи. Онъ содержитъ рефракторъ съ объективной чечевицей въ 70 см. въ поперечникѣ и при 16 метр. фокуснаго разстоянія, сдѣланной братьями Генри въ Парижѣ.

Значеніе зрительной трубы. Едва ли нужно теперь особенно выставлять на видъ пользу столь важнаго инструмента, какъ зрительная труба. Она необходима не только для путешественника, когда онъ хочетъ ознакомиться съ предлежащими мѣстностями или насладиться прелестью далекаго вида: съ вольной природы ее перенесли въ закрытыя помѣщенія театровъ, музеевъ и галлерей. Далѣе, помимо доставляемаго людямъ удовольствія, она служитъ высшимъ научнымъ цѣлямъ: ею не только на обсерваторіяхъ изслѣдуютъ вращающіяся въ безконечномъ пространствѣ свѣтила, но и глубоко внизу, въ тѣсныхъ шахтахъ физикъ наблюдаетъ помощью ея колебанія маятника и вычисляетъ отсюда массу и плотность земли. Тѣ незначительныя отклоненія магнитной стрѣлки, которыя обусловлены ежедневными колебаніямя земного магнетизма, могутъ быть наблюдаемы и точно измѣрены, вслѣдствіе чрезвычайно малыхъ разностей, только при помощи зрительной трубы. Ими почти всегда сопровождается прекрасное явленіе сѣвернаго сіянія, происходящее въ разстояніи тысячи миль на полярномъ небѣ; помощью зрительной трубы мы можемъ измѣрять короткій промежутокъ времени, въ который свѣтъ пробѣгаетъ земныя разстоянія. Въ большинствѣ самыхъ деликатныхъ измѣрительныхъ методовъ естествоиспытатели пользовались зрительной трубой. Эмпирическіе методы современнаго естествознанія развились уже съ конца XVI столѣтія; но изъ однихъ наблюденій и опытовъ можно выводить гипотезы, но нельзя устанавливать законовъ. Послѣдніе открываются и подтверждаются только измѣреніями, и здѣсь-то зрительная труба является самымъ отличнымъ вспомогательнымъ средствомъ.

Вполнѣ естественно, что изобрѣтеніе зрительной трубы прежде всего отразилось на успѣхахъ астрономіи и географіи: здѣсь зрительная труба, въ своемъ простѣйшемъ видѣ, служила для наблюденій, а значительно позже ее стали присоединять какъ вспомогательное средство къ другимъ измѣрительнымъ приборамъ, благодаря чему измѣренія достигли несравненно высшей степени точности, нежели раньше.

Какой былъ объемъ свѣдѣній о небѣ при Птоломеѣ, какіе успѣхи были сдѣланы съ того времени до исхода XVI столѣтія и на какой ступени стоитъ астрономія теперь, спустя столь незначительный промежутокъ времени! Въ то время какъ успѣхи астрономіи въ теченіе полутора тысячъ лѣтъ до изобрѣтенія зрительной трубы ограничивались тѣмъ, что за это время былъ дополненъ птоломеевскій списокъ неподвижныхъ звѣздъ, начиная съ двухъ съ половиной столѣтій тому назадъ, результаты наблюдательной и теоретической астрономіи неожиданно составили цѣлую сокровищницу, благодаря работамъ такихъ людей, какъ Коперникъ, Кеплеръ, Галилей, Ньютонъ, Гюйгенсъ, Лапласъ, Ольберсъ, Гауссъ, Бессель и многіе другіе.

Первоначально было извѣстно только семь планетъ; отдѣльныя, болѣе крупныя кометы поражали своими рѣдкими и неожиданными появленіями; млечный путь былъ необъяснимымъ туманомъ.

Однако трудъ и проницательность превосходно научили цѣнить и ничтожныя средства и привели къ построенію коперниковой системы, а также къ открытію кеплеровскихъ законовъ.

Съ открытіемъ фазъ Юпитера, Меркурія и Венеры, сдѣланнымъ Галилеемъ въ одинъ изъ первыхъ его осмотровъ неба въ зрительную трубу, ученіе о солнцѣ, какъ о центральномъ тѣлѣ, получило прочную основу. Зрительная труба перенесла границы астрономическихъ наблюденій въ безконечную даль. Млечный путь разложенъ на отдѣльныя звѣзды, туманныя пятна оказались большими скопленіями свѣтилъ.

До сихъ поръ принималось шесть звѣздныхъ величинъ; теперь Галилей въ тѣхъ мѣстахъ небеснаго свода, которыя невооруженному глазу показались пустыми, увидѣлъ безчисленное множество новыхъ міровъ. Онъ обо-

значилъ ихъ звѣздами седьмой величины. Въ Оріонѣ онъ открылъ свыше 500 новыхъ звѣздъ и болѣе 36 въ Плеядахъ, гдѣ до тѣхъ поръ было извѣстно только семь звѣздъ. Переходя отъ отдаленныхъ пространствъ къ нашей солнечной системѣ, онъ прежде всего замѣтилъ солнечныя пятна и по ихъ измѣненію заключилъ о вращеніи солнца вокругъ собственной оси. „Число кометъ въ небѣ больше, чѣмъ рыбъ въ морѣ", воскликнулъ съ изумленіемъ Кеплеръ, когда онъ открылъ множество этихъ свѣтилъ въ свою только-что изобрѣтенную зрительную трубу.

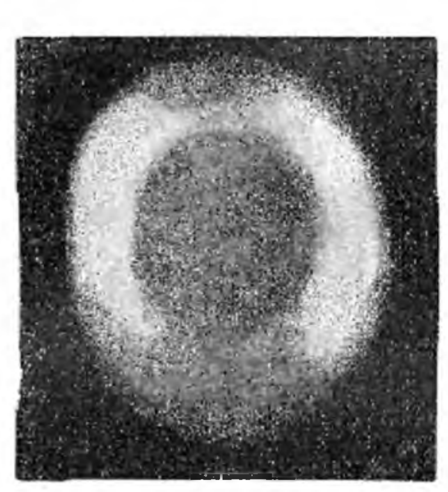
Изъ разницы въ отраженіи свѣта отъ отдѣльныхъ частей луны сдѣлали заключеніе о существованіи горъ, долинъ и морей. Для древнихъ спутникъ нашей земли былъ ничѣмъ инымъ, какъ свѣтящимся шаромъ съ нѣсколькими темными пятнами, которыя и послужили для народнаго ума къ забавной баснѣ о человѣкѣ на лунѣ, — теперь же у насъ имѣются весьма точныя карты (рис. 469) этой части ея поверхности, которая обращена къ намъ. Вмѣсто одиннадцати планетъ, которыя сорокъ лѣтъ тому назадъ еще заучивались въ школѣ, теперь извѣстно ихъ значительно больше трехсотъ, такъ что для ихъ обозначенія не хватаетъ миѳологическихъ именъ, и приходится прибѣгать къ буквамъ и числамъ. Цѣлый сонмъ такихъ малыхъ планетъ носится между орбитами Марса и Юпитера, и несмотря на то, что многія изъ нихъ удалены отъ солнца втрое больше, нежели земля, и что поперечникъ самыхъ меньшихъ едва простирается до десяти миль, онѣ открывались по мѣрѣ постояннаго увеличенія силы зрительныхъ трубъ; элементы ихъ движеній измѣрены самымъ точнымъ образомъ, и вычислены ихъ масса и плотность. Мы далеко вышли бы изъ рамокъ, если бы вдались въ подробности астрономическихъ наблюденій; но во всякомъ случаѣ желательно нѣсколькими рисунками показать, какъ представляются отдѣльныя части микрокосма вооруженному глазу и какой взглядъ на міозданіе, въ противоположность взгляду предковъ, усвоенъ нами.



469. **Луна въ послѣдней четверти.** Съ фотографіи.

Если въ хорошую зрительную трубу разсматривать освѣщенный серпъ луны въ ея послѣднюю или первую четверть, то насъ поразитъ ея великолѣпный видъ. Сильно освѣщенный наружный край луны переходитъ къ серединѣ постепенно все болѣе и болѣе слабо освѣщенныя мѣста; мы видимъ, что предъ нами не плоскій дискъ, но шарообразное тѣло, получающее свѣтъ со стороны, и большей своею частью лежащее въ тѣни. Освѣщенная часть не оставляетъ впечатлѣнія ровной плоскости: мы видимъ свѣтлыя и темныя мѣста, большія ровныя пятна съ меньшимъ блескомъ. и кромѣ того рѣзко

выступающія, благодаря сильному свѣту, кольцеобразныя очертанія съ внутренними, болѣе темными частями. Эти свѣтлыя кольца и отдѣльныя свѣтлыя точки тянутся до центра луннаго серпа при постоянно усиливающемся контрастѣ. Не прибѣгая къ фантазіи, по одному виду можно заключить, что предъ нами тѣло съ разнообразной поверхностью. Сейчасъ же вызываются въ насъ тѣ впечатлѣнія, которыя приходилось получать съ высокихъ горъ при восходѣ солнца. Мы видимъ, какъ ярко освѣщенныя вершины рѣзко отличаются отъ своихъ основаній, лежащихъ въ темнотѣ ночи и затѣненныхъ. Въ особенно темныхъ мѣстахъ, находящихся дальше отъ солнца, мы находимъ за свѣтлыми кольцами опять глубокія тѣни, отбрасываемыя на низменности высоко выдающимися массами. Предъ нами большія котловины, которыя, будучи окружены высокими крутыми валами, напоминаютъ собою лопнувшіе и во время разрыва застывшіе пузыри. По длинѣ отбрасываемой тѣни мы различаемъ болѣе высокія возвышенности отъ болѣе низкихъ, и видимъ, какъ на дискѣ, лежащемъ уже въ полной тѣни, выступаютъ отдѣльными свѣтлыми точками наиболѣе высокія вершины. Уже Галилей смотрѣлъ на длину тѣни, какъ на мѣрило высоты различныхъ горъ, — ибо кольцеобразные валы суть вулканическіе, потухшіе кратеры, — и даже расчитывалъ ихъ вышину; въ настоящее время, путемъ повторныхъ измѣреній опредѣлены высоты отдѣльныхъ лунныхъ горъ, какъ напр. гора Палишуса (5050 метр.) или гора Гюйгенса (4760 м.) и притомъ съ вѣроятной точностью, близко подходящей къ точности земныхъ измѣреній высотъ.



470. Кольцевая туманность въ созвѣздіи Лиры (въ большія зрит. трубы).



471. Туманность въ созвѣздіи Лисицы.

Планета Сатурнъ представляется въ видѣ диска съ двумя боковыми выступами, составляющими края окружающихъ ее колецъ. Юпитеръ, кажущійся невооруженному глазу свѣтящеюся точкою въ небѣ, представляется въ сильно увеличивающую зрительную трубу покрытымъ поясообразными облаками, и особенный видъ послѣднихъ, повторяющійся черезъ извѣстный промежутокъ времени, указываетъ на вращеніе планеты вокругъ ея оси. По точнымъ измѣреніямъ, день на Юпитерѣ составляетъ 9 часовъ 55 минутъ 26 секундъ нашего времени. Мы можемъ замѣтить и измѣрить сжатіе Юпитера на его полюсахъ, подобное сжатію нашей земли. Мы видимъ, что вокругъ планеты вращаются спутники. Изъ того факта, что на освѣщенномъ дискѣ наблюдается иногда тѣнь находящагося по одну сторону отъ Юпитера спутника, причемъ тѣнь эта бываетъ очень черна, мы заключаемъ, что у Юпитера нѣтъ собственнаго свѣта, тогда какъ то обстоятельство, что сами спутники кажутся то болѣе свѣтлыми, то болѣе темными точками на дискѣ своей планеты и что ихъ тѣнь бываетъ часто больше ихъ самихъ, дѣлаетъ

вѣроятнымъ предполагаемое существованіе атмосферной оболочки вокругъ Юпитера.

Всѣ свѣтила нашей солнечной системы имѣютъ видъ тѣлъ, но неподвижныя звѣзды, даже при увеличеніи зрительныхъ трубъ во много тысячъ разъ, представляются намъ не иначе, какъ свѣтящимися точками, безъ видимаго поперечника. Разсматривая одну изъ туманностей въ стекла постоянно возрастающей силы, мы можемъ выдѣлять изъ нея новыя, болѣе обособленныя свѣтлыя точки, изъ которой каждая сама по себѣ есть солнце, міръ. Ихъ совокупность при сравненіи съ дѣйствіями извѣстныхъ намъ силъ, открываетъ нашему представленію область дѣйствій, столь могущественныхъ, что только убѣжденіе въ существованіи строгой закономѣрности можетъ собрать наши мысли и дать имъ прочное основаніе.

Разсмотримъ различныя туманности, изображенныя на рисункахъ 470—471! Сколько мыслей рождается въ насъ: объ образующихся мірахъ, о притяженіи массъ, о дѣйствіяхъ вращательнаго движенія! Нельзя ли сравнить эти видообразованія съ Сатурномъ, или не представляетъ ли солнечная система, къ которой мы принадлежимъ, пылинку сравнительно съ тѣми массами міровъ? — и все-таки мы должны принять, что въ тѣхъ неизмѣримыхъ пространствахъ обнаруживаются постоянныя образовательныя силы, притягивающія другъ къ другу самые малые, стоящіе на границѣ исчезновенія, атомы.

Микроскопъ.

Простой микроскопъ. Очки и увеличительныя стекла. Солнечный микроскопъ. Сложный микроскопъ. Микроскопъ Шевалье и микроскопъ для нѣсколькихъ наблюдателей. Исторія его изобрѣтенія и усовершенствованія. Захарій Янсенъ и Галилей. Употребленіе микроскопа. Предметы, разсматриваемые въ микроскопъ.

Двумя совершенно противоположными путями ведутъ насъ чечевицы къ знакомству съ природой. Телескопъ уноситъ по безконечному пространству въ отдаленные міры. Микроскопъ открываетъ намъ въ самомъ маломъ тѣ же законы, указываетъ на господство тѣхъ же силъ, на которыхъ зиждется вся вселенная; чрезъ него мы знакомимся съ удивительными формами, которыя тайна гармоніи преслѣдуетъ вплоть до атома, какъ и обнаружилъ это вдохновенный Кеплеръ въ небесныхъ сферахъ.

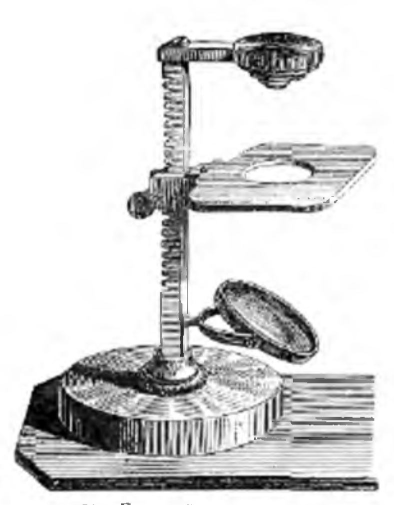
Вокругъ насъ два міра — одинъ безконечно большой, другой безконечно малый, и мы находимся на границѣ обоихъ! Но неудовлетворенный духъ пытливо стремится по ту сторону границы и черезъ воздухъ перекидываетъ мостъ, по которому и переходитъ съ цѣлью посмотрѣть вблизи на предугаданное и негаданное. Телескопъ и микроскопъ суть два такихъ моста — два пути черезъ поле, полное новыхъ вѣчно мѣняющихся красотъ, которыя влекутъ осчастливленнаго путника въ необозримую даль, и откуда навстрѣчу ему никогда не раздастся леденящее „стой“.

Тамъ, гдѣ сегодня горизонтъ полагаетъ предѣлы нашему знанію, завтра человѣкъ переступаетъ съ помощью Минервы, богини плодотворной науки. Она научаетъ закону вмѣстѣ съ полезнымъ его примѣненіемъ, и та самая рука, которая указываетъ путь изслѣдователю, куетъ искусный щитъ въ горнѣ Вулкана. Нѣтъ возможности взвѣсить и перечесть, сколькими механическими искусствами и научными познаніями обязаны мы устройству телескопа и микроскопа. Здѣсь техника шла и идетъ рука-объ-руку съ наукой, и мудрости даетъ начало искусство.

По времени микроскопъ изобрѣтенъ гораздо раньше зрительной трубы, но только въ послѣднія два съ половиной столѣтія стали пользоваться для

высшихъ научныхъ цѣлей нѣкоторыми давно извѣстными явленіями увеличенія. И если сравнить сдѣланныя помощью микроскопа открытія въ области органической природы съ тѣми открытіями, которыми мы обязаны примѣненію телескопа, то будетъ трудно рѣшить, не гораздо ли важнѣе въ нашей практической жизни микроскопъ, нежели зрительная труба. Въ то время, какъ послѣдняя даетъ въ сущности только подтвержденіе извѣстнымъ или выведеннымъ изъ земныхъ отношеній законамъ, первый вводитъ изслѣдователя въ новый міръ, въ тайную мастерскую природы, въ міръ органическихъ измѣненій, и если не въ міръ зарожденія, то, по крайней мѣрѣ, въ міръ бытія и роста.

Простой микроскопъ. Уже обыкновенная выпуклая чечевица есть микроскопъ, такъ какъ предметъ кажется въ ней больше, чѣмъ онъ есть въ дѣйствительности. Прежде для увеличенія ограничивались единственно этимъ простымъ инструментомъ, который шлифовался изъ стекла, помѣщался въ роговую или латунную оправу и назывался лупой. Чѣмъ больше кривизна чечевицы, тѣмъ значительнѣе она увеличиваетъ, и въ такъ называемыхъ стеклянныхъ капляхъ и птичьихъ глазахъ въ качествѣ увеличительныхъ стеколъ пользуются прямо маленькими шарообразными стеклянными тѣлами.

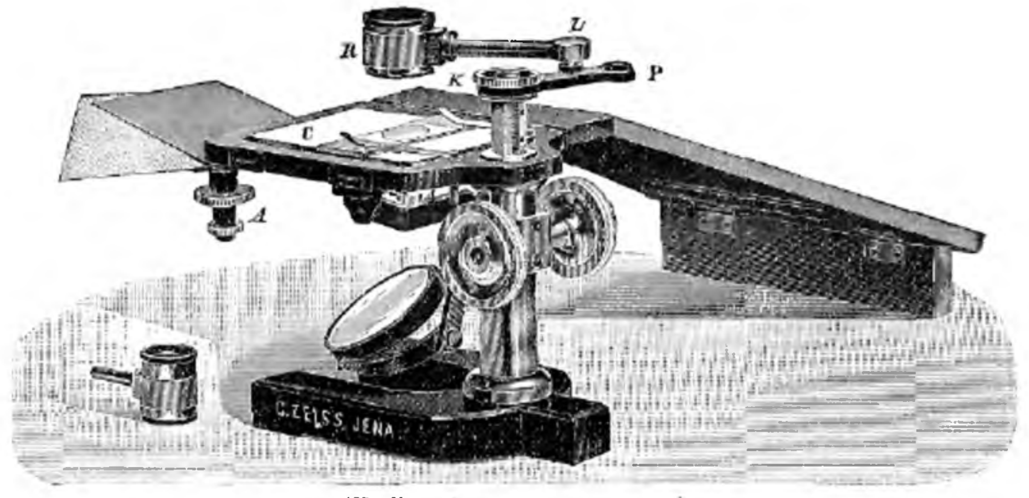


472. Простой микроскопъ.

Хотя уже Сенека упоминаетъ о томъ, что предметы, находящіеся позади полаго, наполненнаго водой шара, кажутся больше и отчетливѣе, и хотя существуютъ съ древнихъ временъ и другія указанія на то, что увеличеніе сферическихъ стеклянныхъ тѣлъ было часто наблюдаемо, однако сознательно стали примѣнять это явленіе, какъ, кажется, довольно поздно. Замѣчательно мелкія и изящныя работы древне-греческихъ рѣзчиковъ могли бы заставить насъ предположить, что онѣ произведены съ помощью увеличительныхъ стеколъ. Однако въ древнихъ временахъ мы не находимъ доказательствъ этому; ибо возможно, что выкапываемыя изъ земли чечевицы служили преимущественно какъ зажигательныя стекла; такъ, весталки при погасаніи священнаго огня имѣли право зажигать его вновь только помощью солнечнаго свѣта. Арабъ Альгаценъ около середины 11 столѣтія первый пользовался въ качествѣ увеличительныхъ стеколъ настоящими чечевицами, представляющими шаровой сегментъ. Но замѣчательно, что такой успѣхъ остался безъ дальнѣйшихъ результатовъ. Главная причина этому та, что Альгаценъ и слѣдующіе за нимъ клали свои стекла прямо на тѣ буквы, которыя они хотѣли увеличить, тогда какъ отъ нихъ, повидимому, совсѣмъ ускользнуло то обстоятельство, что получаются въ дальнѣйшемъ болѣе благопріятные результаты, если держать чечевицы передъ глазомъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ наблюдаемаго предмета.

Въ 13 столѣтіи съ изобрѣтеніемъ очковъ шлифовка чечевицъ стала ремесломъ, быстро распространившимся во всѣхъ странахъ, и вполнѣ естественно, что благодаря этому широкому распространенію стеколъ стали производиться намѣренно и ненамѣренно опыты, приведшіе къ улучшенію лупъ. Стекламъ давали большія кривизны и двѣ или три чечевицы слагали такъ, чтобы онѣ дѣйствовали одинаковымъ образомъ, увеличивая сходимость лучей. Подобное соединеніе чечевицъ называется простымъ микроскопомъ. Обыкновенно ихъ заключаютъ въ металлическую оправу и по два или по

три помѣщають на подвижномъ штативѣ, такъ что можно пользоваться ими по желанію въ отдѣльности или комбинированными между собой. Въ такомъ инструментѣ можно достигнуть довольно большого увеличенія. Шлифовали чечевицы, дававшія линейное увеличеніе въ 300 разъ, и были попытки приготовить стеклянныя капли съ увеличеніемъ до 800 разъ. Но тутъ присоединяется тотъ недостатокъ, что съ возрастаніемъ увеличенія уменьшается поле зрѣнія. Однако для улучшенія маленькихъ инструментовъ сдѣлано все, что было возможно, и они скоро достигли того совершенства, которое позволило примѣнять ихъ для научныхъ цѣлей. Конечно, первые приборы были болѣе рѣдкостями, такъ называемыми стеклами для блохъ и комаровъ, и существуетъ разсказъ, что знаменитый въ свое время знатокъ природы Шейнеръ, умершій во время путешествія въ одной тирольской деревнѣ, послѣ своей смерти вызвалъ среди крестьянъ и духовенства большое волненіе. Именно въ его имуществѣ было найдено замѣчательное стекло. Когда одинъ



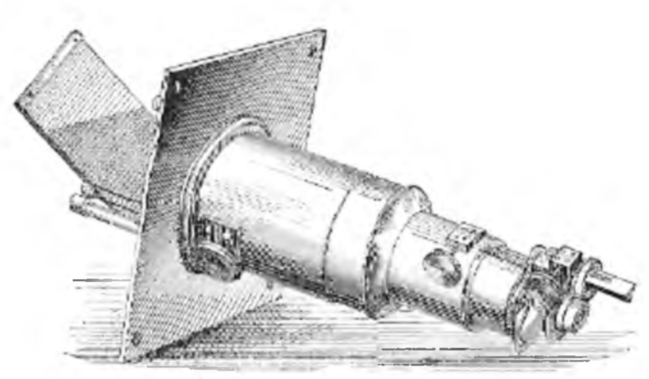
473. Микроскопъ для препарированія.

крестьянинъ изъ любопытства посмотрѣлъ въ него, то увидя предъ собой очень увеличенное изображеніе и будучи убѣжденъ, что это дьяволъ, въ страхѣ бросилъ стекло. Другой крестьянинъ поднялъ его и увидѣлъ то же самое. Естественно Шейнера стали считать за злого волшебника и колдуна, который загонялъ дьявола въ стекло и бралъ его съ собой въ путешествія. Хотѣли лишить его погребенія; но въ то время, пока еще разсуждали, какимъ образомъ отдѣлаться отъ непріятнаго покойника, стекло было раскрыто и мнимый дьяволъ оказался настоящей блохой, необыкновенно увеличенной чечевицеобразной стеклянной крышкой.

Если эти инструменты, продаваемые и въ настоящее время на ярмаркахъ, служили раньше большей частью для забавы, то напротивъ мы находимъ, что уже Леувенхукъ (1632—1723) усердно занимался надъ изученіемъ помощью самодѣльныхъ приборовъ строенія растеній и животныхъ, и снятые съ натуры рисунки служатъ лучшимъ доказательствомъ того усовершенствованія, которое онъ сумѣлъ сдѣлать въ своихъ инструментахъ (рис. 472). Чечевицы онъ укрѣплялъ на вертикальномъ штативѣ и подъ ними помѣщалъ предметный столикъ, который можно передвигать вверхъ и внизъ помощью шестерни и зубчатаго стержня и располагать въ главномъ фокусѣ чечевичной системы. Кромѣ того для лучшаго освѣщенія снизу находящагося на столикѣ предмета онъ употреблялъ уже вогнутое зеркало. У позд-

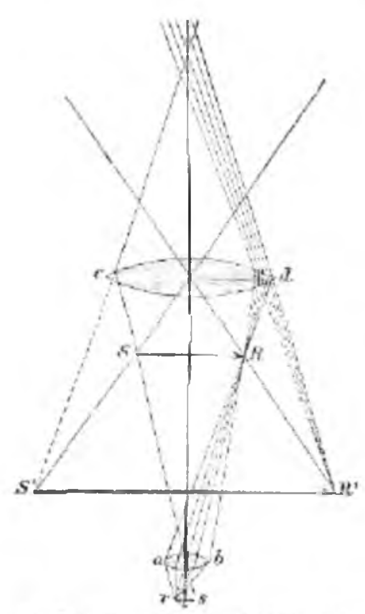
нѣйшихъ изслѣдователей (Мушенбрукъ, Хукъ и т. д.) это приспособленіе частью осталось, частью измѣнено и улучшено.

Рис. 473 представляетъ хорошій простой, построенный Цейсомъ въ Іенѣ, микроскопъ, употребляемый зоологами и ботаниками для препарированій. Столикъ состоитъ изъ металлической рамы, къ которой приставляется складная деревянная доска для рукъ. Апланатическая лупа, состоящая изъ трехъ чечевицъ, имѣетъ относительно большое фокусное разстояніе при большомъ плоскомъ полѣ зрѣнія и можетъ быть передвигаема по всему предметному столику помощью особаго плеча RL, вложеннаго при L въ стойку всей системы.



474. Солнечный микроскопъ.

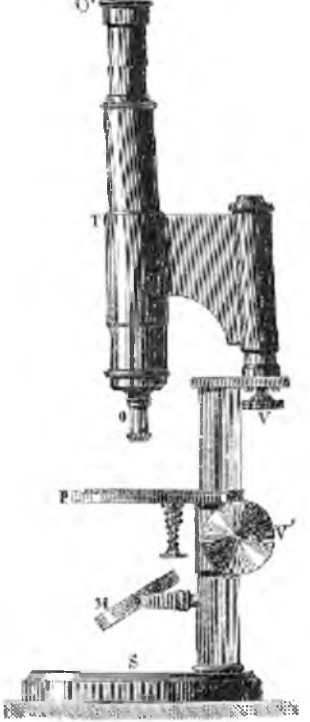
Солнечный микроскопъ въ отношеніи своего устройства занимаетъ среднее мѣсто между простымъ и сложнымъ микроскопами. Обыкновенная лупа увеличиваетъ сходимость лучей, идущихъ въ нашъ глазъ отъ наблюдаемаго предмета; въ солнечномъ микроскопѣ получается дѣйствительное изображеніе, которое, будучи принято на подходящемъ разстояніи, воспроизводитъ предметъ, хотя и въ обратномъ, но значительно увеличенномъ видѣ; въ сложномъ микроскопѣ получаемое внутри трубы дѣйствительное изображеніе разсматривается, какъ и въ зрительной трубѣ, въ особый окуляръ.



475. Принципъ сложнаго микроскопа.

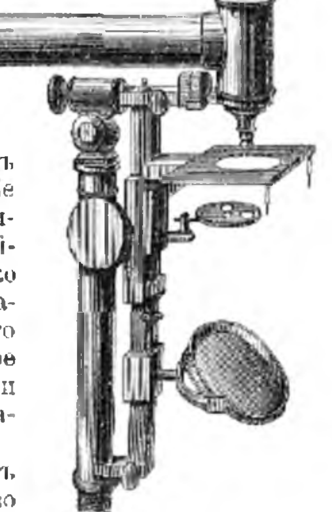
Принципъ устройства солнечнаго микроскопа тождественъ съ принципомъ устройства волшебнаго фонаря; на мѣсто картинокъ по стеклу здѣсь вдвигается подлежащій увеличенію предметъ, находящійся между двумя стеклянными пластинками. Какъ показываетъ уже само названіе инструмента, освѣщеніе производится прямымъ солнечнымъ свѣтомъ, который помощью геліостата направляется на собирательную чечевицу, и послѣдній концентрируется на объективѣ. При отсутствіи солнечнаго свѣта можно пользоваться электрическимъ свѣтомъ, цирконовымъ, друммондовымъ свѣтомъ или тому подобнымъ сильнымъ источникомъ свѣта. Солнечный микроскопъ мало употребляютъ для чисто научныхъ изслѣдованій, больше же для демонстрированія предметовъ, недоступныхъ невооруженному глазу, напр. цвѣточной пыли, пыли бабочекъ, кремнистыхъ панцырей въ мѣлѣ, образованія кристалловъ и т. д.; при этомъ имѣется въ виду не столько отчетливое воспроизведеніе малѣйшихъ подробностей, сколько поразить зрителя необыкновенно большими размѣрами предмета.

На рис. 474 представленъ солнечный микроскопъ въ соединеніи съ зеркаломъ геліостата; микроскопъ привинчивается къ ставнямъ наблюдательной комнаты. Хотя и нельзя говорить объ отдѣльномъ изобрѣтеніи солнечнаго микроскопа, такъ какъ его устройство близко къ устройству стариннаго волшебнаго фонаря, и хотя нѣтъ никакого существеннаго нововведенія въ замѣнѣ свѣта лампы солнечнымъ свѣтомъ, но обыкновенно приписываютъ это изобрѣтеніе амстердамцу Либеркюну. Говорятъ, что онъ ознакомился съ солнечнымъ микроскопомъ черезъ Фаренгейта, умершаго въ 1736 г., и благодаря поражающимъ объективнымъ изображеніямъ своего инструмента вновь вызвалъ необычайный интересъ къ микроскопическимъ изслѣдованіямъ.



476. Сложный микроскопъ.

Сложный микроскопъ. Замѣчательно, что сложный микроскопъ, изобрѣтенный одновременно съ простымъ, въ своемъ развитіи оставался долгое время позади послѣдняго, такъ что до начала этого столѣтія почти всѣ научныя микроскопическія изслѣдованія производились помощью простого микроскопа. Причина, почему отдавали предпочтеніе простому микроскопу, доведенному до высокой степени совершенства, заключалась въ томъ, что сложный микроскопъ, вслѣдствіе хроматической аберраціи давалъ изображенія съ неясными цвѣтными краями до тѣхъ поръ, пока не научились готовить хорошія ахроматическія системы чечевицъ. Разъ эта задача была рѣшена, ревностно принялись за улучшеніе сложнаго микроскопа, который въ настоящее время соединилъ въ себѣ всѣ преимущества: большое поле зрѣнія, сильное увеличеніе и рѣзкость изображеній, при отсутствіи цвѣтныхъ краевъ. Какъ было уже упомянуто, сложный микроскопъ отличается отъ простого тѣмъ, что имѣетъ двѣ системы стеколъ, объективъ и окуляръ; даваемое объективомъ увеличенное обратное дѣйствительное изображеніе наблюдаемаго предмета разсматривается въ увеличивающій окуляръ. Стоитъ только вспомнить устройство зрительной трубы, и изъ рис. 475 мы легко поймемъ дѣйствіе микроскопа. rs наблюдаемый маленькій предметъ, находящійся вблизи главнаго фокуса объектива ab; послѣдній даетъ увеличенное обратное изображеніе RS предмета, которое при разсматриваніи въ увеличивающій окуляръ cd кажется въ $R'S'$.


477. Микроскопъ Шевалье

Таковъ основной принципъ всѣхъ сложныхъ микроскоповъ. Каковы бы ни были отступленія во внѣшнемъ устройствѣ инструментовъ у отдѣльныхъ оптиковъ, расположеніе чечевицъ остается въ принципѣ то же самое. Конечно число чечевицъ часто бываетъ гораздо больше, чѣмъ на нашемъ рисункѣ; вмѣсто двояковыпуклыхъ чечевицъ употребляютъ комбинаціи изъ плоско-выпуклыхъ, окуляромъ пользуются обыкновенно как-

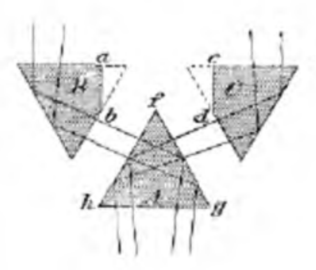
пановскимъ (рис. 460); идущіе отъ объектива лучи прежде, чѣмъ имъ соединиться въ дѣйствительное изображеніе, встрѣчаютъ собирательную чечевицу *окуляра, которая увеличиваетъ ихъ сходимость, и получаемое изображеніе* разсматривается въ окулярную чечевицу. Объективъ составляется обыкновенно также изъ нѣсколькихъ чечевицъ; при различныхъ ихъ комбинаціяхъ получаютъ различныя степени увеличенія. Кромѣ того число чечевицъ увеличивается тѣмъ обстоятельствомъ, что въ лучшихъ инструментахъ примѣняютъ исключительно ахроматическія стекла. Поле зрѣнія микроскопа зависитъ отъ поперечника окуляра и измѣряется угломъ, подъ которымъ окуляръ видѣнъ изъ середины объектива.


478. Стереоскопическій двуокулярный микроскопъ Наше.

Рис. 476 представляетъ обыкновенный видъ сложнаго микроскопа. Трубка T заключаетъ главныя составныя части его, окуляръ O' и систему объективовъ O. *Трубка внутри зачернена и снабжена въ* соотвѣтствующихъ мѣстахъ діафрагмами; помощью микрометреннаго винта V она можетъ быть передвигаема вверхъ и внизъ вдоль вертикальнаго штатива, чѣмъ достигается рѣзкое и точное наведеніе микроскопа на предметъ.

Болѣе грубая установка производится ранѣе, передвиженіемъ трубки въ обхватывающей ее гильзѣ T. Подставка P для предмета покоится на призматическомъ столбѣ и помощью зубчатки V' можетъ быть перемѣщаема вертикально вверхъ и внизъ. Подставка для предмета состоитъ изъ небольшого столика, который имѣетъ посрединѣ отверстіе для освѣщенія предмета снизу свѣтомъ, отражаемымъ передвижнымъ вогнутымъ зеркаломъ M. Для регулированія свѣта служитъ діафрагма, снабженная различныхъ величинъ отверстіями и находящаяся подъ столикомъ. Непрозрачные предметы освѣщаются сверху собирательной чечевицей.

Шевалье далъ микроскопу такую конструкцію, при которой чрезъ посредство находящейся въ трубкѣ призмы съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ можно наблюдать чрезъ окуляръ въ горизонтальномъ направленіи (рис. 477).

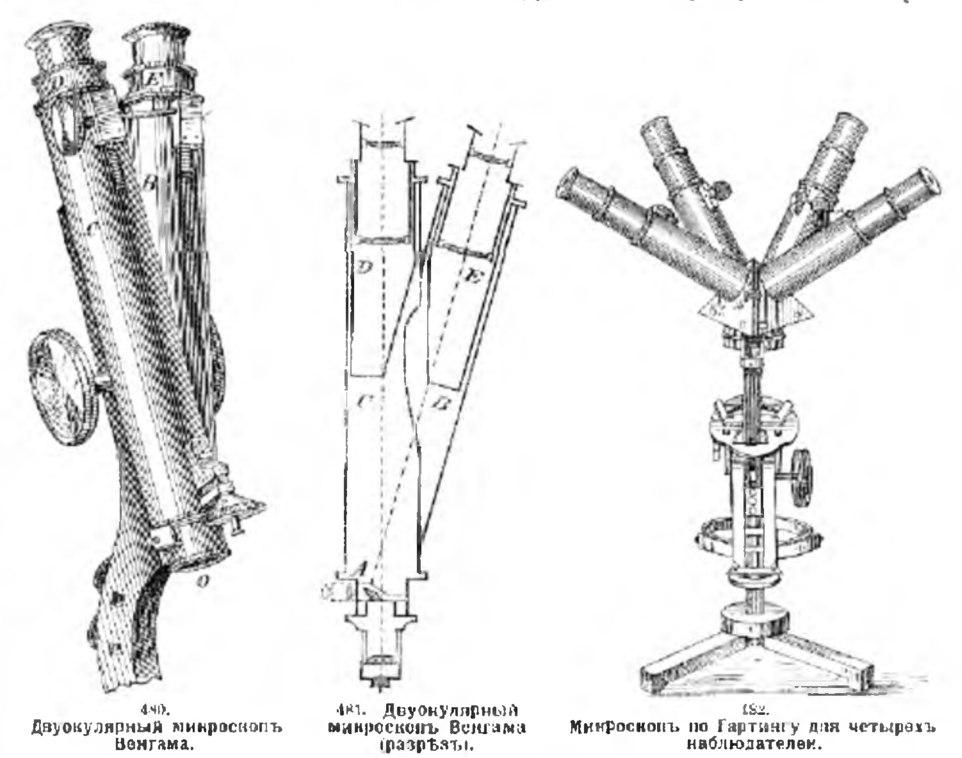


479. Разрѣзъ призмъ въ микроскопѣ Наше.

Вставленіемъ особымъ образомъ отшлифованной призмы достигается то, что нѣсколько наблюдателей получаютъ возможность разсматривать одновременно одинъ и тотъ же предметъ съ однимъ и *тѣмъ же инструментомъ. Эта призма,* какъ и въ микроскопѣ Шевалье, помѣщается выше системы объективовъ; естественно, у каждаго наблюдателя есть свой особый окуляръ (рис. 478). Для оцѣнки наблюденія при совмѣстныхъ изслѣдованіяхъ, а также и для педагогическихъ цѣлей такое устройство безъ сомнѣнія имѣетъ свои преимущества: ибо для толковаго наблюденія микроскопическихъ предметовъ требуется большой навыкъ, достигаемый самостоятельнымъ изученіемъ, или еще лучше путемъ преподаванія; послѣднее же сильно облегчается при одновременномъ разсматриваніи нѣсколькихъ наблюдателей.

Двуокулярный микроскопъ даетъ возможность одному наблюдателю видѣть предметъ одновременно обоими глазами и получать стереоскопиче-

ское изображеніе. Рис. 478 представляетъ видъ стереоскопическаго двуокулярнаго микроскопа Нашe. Между объективомъ и обѣими параллельными трубками помѣщены призмы съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, разрѣзъ и дѣйствіе которыхъ наглядно представлены на рис. 479. Идущіе отъ объектива лучи отражаются отъ поверхностей *gf* и *hf* призмы *A*, достигаютъ призмъ *B* и *C* и, претерпѣвъ въ нихъ вторично полное внутреннее отраженіе, поступаютъ въ окулярную трубу и въ глазъ. Въ двуокулярномъ микроскопѣ Венгама, представленномъ на рис. 480 въ перспективѣ и на рис. 481 въ разрѣзѣ, часть идущихъ отъ объектива лучей вступаетъ прямо въ трубу *C D* и въ глазъ, тогда какъ другая часть претерпѣваетъ два раза



480. Двуокулярный микроскопъ Венгама.

481. Двуокулярный микроскопъ Венгама (разрѣзъ).

482. Микроскопъ по Гартнигу для четырехъ наблюдателей.

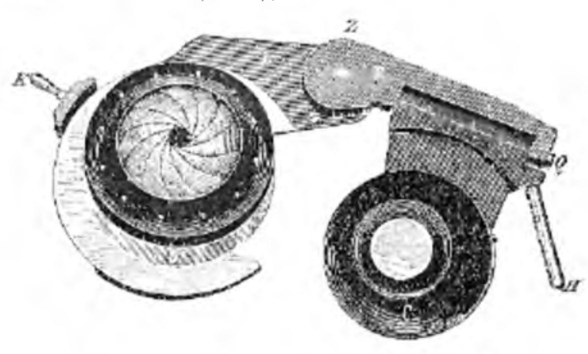
полное внутреннее отраженіе въ маленькой стеклянной призмѣ *A* и попадаетъ въ другой глазъ черезъ трубку *BE*. Рис. 482 изображаетъ четырехокулярный микроскопъ по Гартнигу для четырехъ наблюдателей.

Изъ болѣе старыхъ мастерскихъ для микроскоповъ извѣстны мастерская Гартнака въ Потсдамѣ, Ивика въ Берлинѣ, Шевалье въ Парижѣ, Плёсля въ Вѣнѣ, Мерца въ Мюнхенѣ; изъ новѣйшихъ фирмъ нужно назвать Шмидта и Генша въ Берлинѣ, Шредера въ Гамбургѣ, и прежде всего К. Цейсса въ Іенѣ, который теперь готовитъ самые лучшіе инструменты.

На рис. 483 представленъ сдѣланный въ Іенѣ К. Цейссомъ инструментъ, достаточный для большей части спеціальныхъ микроскопическихъ работъ. Верхняя его часть можетъ быть наклонена вплоть до горизонтальнаго положенія, закрѣпляется въ любомъ промежуточномъ положеніи вращеніемъ находящагося снизу рычажка. Болѣе грубая установка производится помощью шестерни и зубчатой рейки, болѣе же точная установка — при помощи микрометреннаго винта, снабженнаго головкой съ дѣленіями. Для освѣщенія снизу предмета служитъ находящійся подъ столикомъ приборъ Аббе; онъ

состоитъ въ сущности изъ короткофокусной системы чечевицъ, которою лучи свѣта, идущіе отъ плоскаго или вогнутаго зеркала, собираются въ коническій пучокъ съ весьма большимъ отверстіемъ и сосредоточиваются на предметѣ. Всѣмъ свѣтовымъ конусомъ пользуются только для освѣщенія мелкозернистыхъ, сильно подкрашенныхъ предметовъ (напр. бактерій) и при этомъ примѣняютъ объективъ съ большимъ отверстіемъ, тогда какъ обыкновенно приходится уменьшать этотъ коническій пучокъ или помощью простыхъ діафрагмъ, или діафрагмъ ирисовыхъ, благодаря чему получають центральное освѣщеніе. Помощью соединенной съ діафрагмами зубчатой передачи можно помѣстить діафрагмы эксцентрично и, исключивъ чрезъ это центральные лучи, заставить дѣйствовать на предметъ часть боковыхъ лучей, чѣмъ и достигается косое освѣщеніе. На рис. 484 и 485 представленъ собиратель Аббе, вдвигаемый въ гильзу освѣтительнаго прибора. По удаленіи оправы съ діафрагмами *D* (отъ наблюдателя направо) онъ помощью рычажка *H* можетъ быть выдвинутъ изъ своей гильзы вращеніемъ около оси *Q* (внизъ) и затѣмъ вращеніемъ около оси *Z* (налѣво) отодвинутъ въ сторону. При наблюденіи безъ собирателя освѣщающій конусъ можетъ быть уменьшенъ помощью соединенной съ приборомъ ирисовой діафрагмы, для чего служитъ головка *K* (рис. 484). Отверстіе діафрагмы можетъ быть сильно сужено, и край его приходится непосредственно подъ препаратомъ.

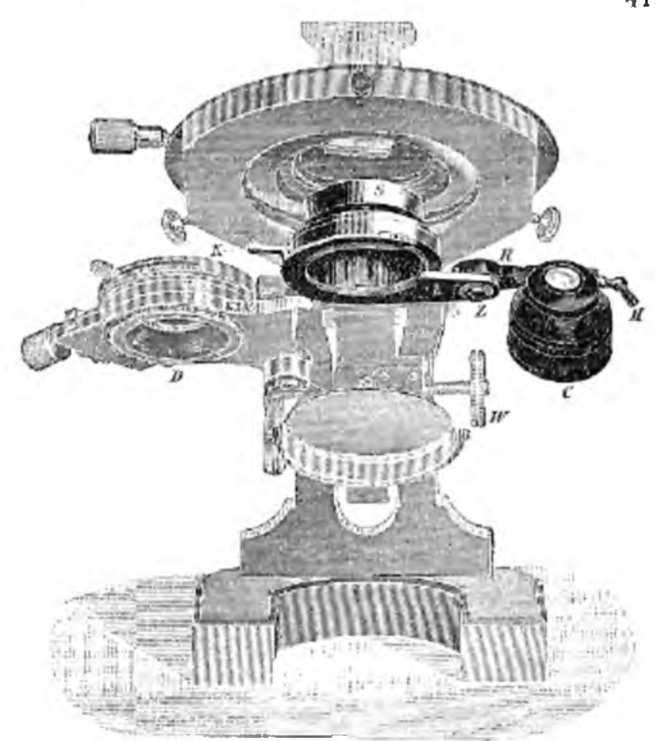
483. Цейссовскій микроскопъ съ подвижнымъ столикомъ (1/3 натур. величины).



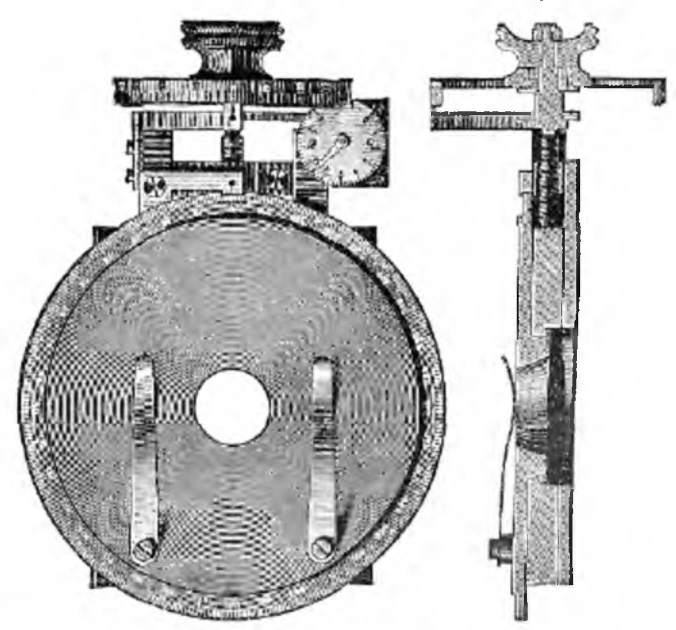
484. Собиратель Аббе съ ирисовой діафрагмой.

Для точнаго измѣренія болѣе крупныхъ предметовъ, не помѣщающихся въ полѣ зрѣнія микроскопа, къ предметному столику прикрѣпляютъ микрометренный винтъ (рис. 486). Передвигаемыя помощью микрометреннаго винта салазки имѣютъ вращающійся дискъ съ круговыми дѣленіями для оріентировки предмета. Непосредственныя дѣленія микрометреннаго барабана даютъ 0,002 мм; цѣлые повороты винта отсчитываются по указателю.

Исторія развитія микроскопа, какъ мы уже упомянули, совпадаетъ въ самомъ началѣ со временемъ изобрѣтенія *очковыхъ стеколъ*, простирающагося въ глубокую древность. Если извѣстный смарагдъ Нерона былъ дѣйствительно зрительнымъ стекломъ, то это обстоятельство указывало бы намъ на то, что тогда уже были извѣстны приготовленіе и дѣйствіе вогнутыхъ чечевицъ; ибо нѣкоторые современные Нерону писатели изображаютъ его близорукимъ. Однако у Рожера Бэкона упоминается только о выпуклыхъ чечевицахъ, которыя и рекомендуются старикамъ, страдающимъ дальнозоркостью. *Изобрѣтеніе очковъ* (изъ берилла, который въ средніе вѣка былъ однозначущъ со стекломъ) относится ко времени до Бэкона; вѣроятно онѣ сдѣланы *Армати* изъ Флоренціи въ концѣ 13 столѣтія и затѣмъ распространены *Александромъ Спина*. Первое достовѣрное извѣстіе — „недавно изобрѣтенныя стекла, называемыя очками, истинная благодать для бѣдныхъ стариковъ со слабымъ зрѣніемъ“ — относится къ 1299 году. Столь спасительное изобрѣтеніе должно было быстро распространяться по всѣмъ странамъ; къ началу 14 столѣтія очки, какъ приводитъ въ своемъ „Космосѣ“ Гумбольдтъ, были извѣстны въ Гаарлемѣ. Конечно старыя очки въ своей кожаной оправѣ были мало схожи



485. Собиратель (Конденсоръ) въ соединеніи съ микроскопомъ.



486. Предметный винтовой микрометръ (2/3 натур. велич.).

со своими элегантными современными сестрами. Большой спросъ вызвалъ новую промышленность, шлифовку очковъ, которая скоро стала производиться въ каждомъ мало-мальски значительномъ городѣ; именно, въ Голландіи, гдѣ господствовала тогда особенно кипучая жизнь, многіе посвятили себя этому искусству, а маленькій городъ Миддельбургъ получилъ благодаря этому въ исторіи изобрѣтеній имя перваго разряда.

Нельзя не упомянуть о томъ, что производство очковъ въ настоящее время обратилось въ важный промыселъ, главное мѣсто котораго находится въ Германіи со времени стараго нюрнбергскаго Фюрта. На мѣсто прежней кожаной оправы явилась въ 1710 г. оправа изъ проволоки, которая вскорѣ затѣмъ замѣнена оправой изъ латуни. Въ 1792 г. появились очки съ посеребренными боковыми проволоками, въ 1801 г. — съ черепаховой и роговой оправой, въ 1840 г.—съ серебряной оправой. Стальныя очки первоначально дѣлались во Франціи, и они быстро нашли широкое распространеніе; въ настоящее время они производятся также и въ другихъ мѣстахъ; напр. Фюртъ доставляетъ ежегодно на рынокъ нѣсколько сотенъ тысячъ стальныхъ очковъ.

Въ городкѣ Миддельбургѣ, въ мастерскихъ тамошнихъ художниковъ, была изобрѣтена не только зрительная труба, но и микроскопъ. Часто судьбы обоихъ изобрѣтеній смѣшиваются между собою, и вслѣдствіе этого мы встрѣчаемъ тѣхъ же претендентовъ на микроскопъ, которые оспаривали свое первенство на изобрѣтеніе телескопа. Особенно Корнелій Дреббель изъ Алькмара и Галилей, первый голландцами, второй итальянцами, считались имѣющими полное право на честь перваго изобрѣтенія; но послѣднія изслѣдованія показали, что это несправедливо. Ибо оказалось, что первый микроскопъ вышелъ въ концѣ 16 столѣтія (вѣроятно уже въ 1590 г.) изъ мастерской всегда только вскользь упоминавшагося миддельбурскаго оптика Янсена. При изложеніи исторіи развитія зрительной трубы было упомянуто о судебныхъ изслѣдованіяхъ, произведенныхъ Вильгельмомъ Бореелемъ, товарищемъ въ играхъ Захарія Янсена, сына Ганса. Изслѣдованія эти, имѣвшія цѣлью спасти честь своей родины въ начинавшемся тогда спорѣ объ изобрѣтателѣ, показали, что задолго до изобрѣтенія Липперегея въ семьѣ Янсена было изобрѣтено сложное оптическое стекло, называвшееся тогда коротко, какъ и зрительная труба, глазнымъ стекломъ или очками; но, судя по описанію, это было не что иное, какъ сложный микроскопъ. Неопредѣленность названія была причиною того, что либо оба Янсена считались за изобрѣтателей зрительной трубы, либо Липперегея принимали за конструктора микроскопа.

Одинъ такой, быть-можетъ, первый, инструментъ Янсенъ поднесъ принцу Морицу Нассаускому и получилъ за это награду. Бореель въ бытность свою англійскимъ посломъ видѣлъ у придворнаго математика Корнелія Дреббель подобный же инструментъ, который, по словамъ самого обладателя, былъ ему подаренъ эрцгерцогомъ Альбертомъ. Этотъ микроскопъ состоялъ изъ позолоченной мѣдной трубки въ 1 см. ширины, поддерживаемой тремя латунными дельфинами, вдѣланными въ дискъ изъ чернаго дерева; на послѣднемъ находилось приспособленіе одновременно и для закрѣпленія и для разсматриванія предмета. Но доказано, что Янсенъ поднесъ австрійскому принцу микроскопъ, тождественный съ инструментомъ Дреббеля. Теперь стоитъ только подумать, какъ легко и какъ часто бываетъ склонна толпа уже извѣстнымъ людямъ приписывать важныя качества и изобрѣтенія, а неизвѣстныхъ оставлять безъ вниманія, и тогда не покажется удивительнымъ, что извѣстный, высокопоставленный учитель Дреббель возведенъ общественнымъ мнѣніемъ въ изобрѣтателя микроскоповъ, которые онъ приготовлялъ по моделямъ Янсена и раздавалъ среди обширнаго круга своихъ знакомыхъ. О простомъ миддельбургскомъ оптикѣ никто не вспомнилъ. Одинъ родственникъ Дреббеля

Яковъ Купплеръ изъ Кельна пришелъ въ 1622 г. въ Римъ съ цѣлью показать при папскомъ дворѣ удивительный инструментъ. Однако онъ умеръ, прежде чѣмъ успѣлъ добиться цѣли.

Другіе микроскопы посылались въ Римъ изъ Парижа; однако тамъ такъ плохо умѣли обращаться съ новымъ изобрѣтеніемъ, что только по прибытіи Галилея удалось ясно видѣть предметы. Въ высшей степени вѣроятно, что Галилей по образцу этого инструмента составилъ микроскопъ, посланный имъ въ 1624 г. къ Варѳоломею Имперіали въ Геную. Повидимому уже въ 1612 г. Галилей послалъ одинъ микроскопъ польскому королю Сигизмунду, но нигдѣ не упоминается устройство и дѣйствіе этого прибора, и кромѣ того до 1624 г. былъ извѣстенъ только тотъ галилеевскій инструментъ. Въ этомъ году, говорятъ, онъ значительно улучшилъ микроскопъ и затѣмъ приготовилъ ихъ въ большомъ числѣ.

Изъ всего этого вытекаетъ, что Галилею въ отношеніи изобрѣтенія микроскопа и зрительной трубы принадлежитъ не иная слава, какъ только та, что онъ принималъ большое участіе въ ихъ усовершенствованіи, примѣненіи и распространеніи. Далѣе итальянскіе ученые одному только Галилею обязаны тѣмъ усердіемъ, съ которымъ они примѣняли новый инструментъ въ своихъ изслѣдованіяхъ; многократное его употребленіе послужило поводомъ къ различнымъ улучшеніямъ въ немъ. Франческо Стеллути уже въ 1625 г. микроскопически изслѣдовалъ анатомическое строеніе пчелы; Марчелло Мальпиги въ Болоньѣ доказалъ кровообращеніе въ волосныхъ сосудахъ плавательной перепонки лягушки; оптикъ Дивини помѣщалъ на мѣсто одной двояковыпуклой окулярной чечевицы двѣ плосковыпуклыя чечевицы, касающіяся между собой серединой своихъ кривыхъ поверхностей, благодаря чему значительно уменьшалась сферическая аберрація; затѣмъ Кампани изобрѣлъ названный по его имени окуляръ.

Въ Англіи Робертъ Гукъ въ 1665 г. опубликовалъ свою „Микрографію“, наблюденія надъ строеніемъ отдѣльныхъ частей растительныхъ и животныхъ тѣлъ, произведенныя имъ помощью самодѣльныхъ инструментовъ. Его микроскопъ состоялъ изъ четырехъ, вдвигаемыхъ одна въ другую трубокъ, гдѣ находились объективъ, собирательное стекло и окуляръ. При помощи винта можно было постепенно приближать его къ предмету. Впрочемъ уже Галилей устроивалъ свои инструменты выдвижными. Послѣ Гука въ исторіи микроскопическихъ изслѣдованій заслуживаютъ упоминанія англичане Геншау и Негеміа Грью. Въ Германіи Штурмъ изъ Нюрнберга пріобрѣлъ заслуги въ усовершенствованіи микроскоповъ особенно тѣмъ, что онъ для избѣжанія сферической и ахроматической аберрацій и для полученія возможно рѣзкихъ изображеній первый составлялъ объективъ изъ комбинаціи двухъ двояковыпуклыхъ или одной плосковыпуклой и одной двояковыпуклой чечевицы. Однако онъ не достигъ своей цѣли, такъ какъ упомянутые недостатки такъ же, какъ и предложенными Гюйгенсомъ чечевицами съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ, устранялись только отчасти. Такимъ образомъ удержалась простая лупа, тогда какъ сложный микроскопъ употреблялся немногими изслѣдователями и то только въ видѣ опыта.

Улучшенія въ механической части сложнаго микроскопа касались главнымъ образомъ подставки для предмета и способа освѣщенія. Первая была вскорѣ снабжена по идеѣ Гука винтовой установкой, тогда какъ для послѣдней цѣли стали примѣнять чечевицы или зеркала то отдѣльно, то комбинированныя между собой. Образцомъ для позднѣйшихъ исполненій послужила конструкція нѣмца Гертеля. Онъ снабжалъ свои инструменты зеркаломъ, которое имѣло вращеніе по всѣмъ направленіямъ, могло принимать любое положеніе относительно предмета; подставка для предмета имѣла круглое отверстіе для прозрачныхъ предметовъ и бѣлую или черную пла-

стинку для предметовъ непрозрачныхъ. Трубка двигалась въ шарнирѣ, и для микроскопическихъ измѣреній въ ней помѣщались или винтовой или стеклянный и нитяной микрометры.

Инструменты Гертеля благодаря своему удобству неоднократно служили образцами для позднѣйшихъ оптиковъ, такихъ, какъ Мартинъ, Адамсъ, Доллондъ, Рейнталеръ въ Лейпцигѣ, Брандеръ въ Аугсбургѣ и т. д., и ихъ устройство повторяется еще и въ современныхъ микроскопахъ.

Въ то время уже имѣлись въ продажѣ собранія микроскопическихъ предметовъ для любителей естествознанія.

Главныя составныя части микроскопа — чечевицы — были усовершенствованы только послѣ Эйлера. Такъ какъ еще не было устранено свѣторазсѣяніе, препятствующее отчетливости изображенія, то Робертъ Баркеръ и другіе хотѣли ввести въ употребленіе отражательные микроскопы, въ которыхъ подобно зеркальнымъ телескопамъ объективъ былъ замѣненъ вогнутымъ зеркаломъ; но попытки эти разстроились вслѣдствіе того, что получались *изображенія ничтожной яркости*. *Деллабаръ пытался уменьшить сферическую* аберрацію помощью особенной комбинаціи своихъ окуляровъ и увеличить поле зрѣнія вставленіемъ собирательной чечевицы. Для различныхъ увеличеній онъ, подобно Штурму, употреблялъ различные объективы и съ этой цѣлью дѣлалъ свои трубки выдвижными. Самъ Деллабаръ еще не пользовался ахроматической двойной чечевицей, хотя и употреблялъ оба сорта стекла, кронгласъ и флинтгласъ; первый сдѣлалъ это Эпинусъ, послѣ котораго голландцы Беельдснидеръ, Иванъ и Германъ ванъ Дейль приготовляли превосходные микроскопы. Инструменты Эпинуса страдали еще *тѣмъ недостаткомъ, что чечевицы въ нихъ имѣли слишкомъ большое фокусное* разстояніе, вслѣдствіе чего они становились необыкновенно длинны и обращаться съ ними было весьма неудобно. Напротивъ, объективы ванъ-Дейля, которыхъ у микроскопа было обыкновенно по два, имѣли фокусное разстояніе только въ 30 и 15 мм.; они состояли изъ двояковыпуклой кронгласовой чечевицы и одной почти плосковыпуклой чечевицы изъ флинтгласа, и по мнѣнію Гартинга были настолько хороши, что превосходили даже навѣйшіе объективы.

Правда, прошло много времени прежде, чѣмъ оптики могли удовлетворять постоянно возрастающимъ требованіямъ прогрессирующей науки; и если микроскопы Фраунгофера въ дѣйствительности еще не достигли совершенства, то въ нихъ все-таки были вложены идеи этого геніальнаго ума, приведшія другихъ къ той же цѣли. Основываясь на опредѣленіяхъ Фраунгофера, французскій физикъ Эрнестъ Селлигъ заказалъ у оптика Шевалье микроскопъ, который своимъ дѣйствіемъ превзошелъ всѣ сдѣланные до тѣхъ поръ микроскопы. Онъ имѣлъ четыре соединенныхъ между собою ахроматическихъ двойныхъ чечевицы съ фокуснымъ разстояніемъ въ 37 мм., — устройство, примѣненное съ успѣхомъ ко всѣмъ позднѣйшимъ микроскопамъ. Но, конечно, яркость изображенія была ничтожна, такъ какъ Шевалье обращалъ къ предмету кривую поверхность объективной чечевицы. Амичи, подъ вліяніемъ успѣха Шевалье, тотчасъ оставилъ зеркальные телескопы, начатые имъ съ полусомнѣніемъ, и вернулся опять къ приготовленію чечевичныхъ объективовъ. Онъ располагалъ объективныя и окулярныя чечевицы такъ, что ихъ плоскія поверхности лежали наружу, и такимъ образомъ достигъ конструкціи апланатическаго микроскопа, въ которомъ сферическая аберрація была почти совершенно уничтожена. 1827 г., въ который Амичи окончилъ свой первый микроскопъ подобнаго рода, долженъ считаться поэтому новой эпохой въ исторіи практической оптики.

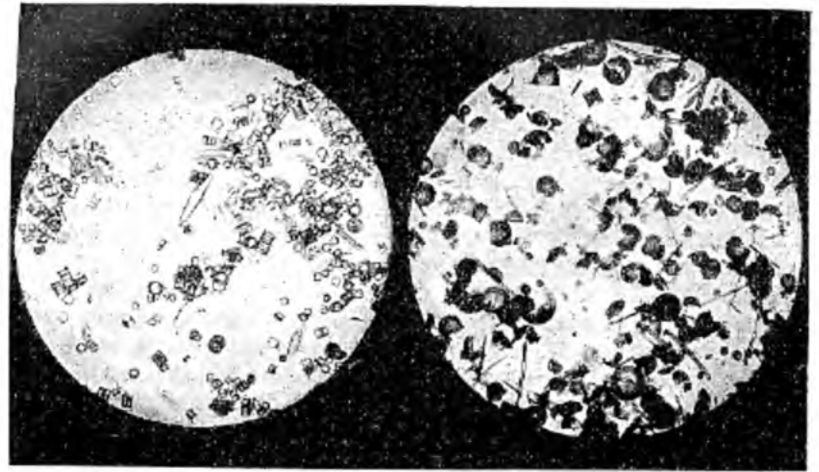
Вмѣстѣ съ тѣмъ сложный микроскопъ во всѣхъ отношеніяхъ одержалъ надъ простымъ микроскопомъ побѣду и съ тѣхъ поръ годъ за годомъ сталъ

постепенно вытѣснять его. Такія имена, какъ Г. и С. Мерцъ съ сыновьями въ Мюнхенѣ, Робертъ въ Грейсвальдѣ, Плёсль и Комп. въ Вѣнѣ, Шикъ въ Берлинѣ, Россъ, Поуельсъ, Смитъ и Бекъ въ Лондонѣ, Зибертъ, Крафтъ и Эрнстъ Зейцъ въ Ветцларѣ, д-ръ Е. Гартнакъ и Г. А. Пражмовскій въ Парижѣ и Потсдамѣ, Бенехъ и Вассерлейнъ, Ваппенгансъ, Шмидтъ и Геншъ въ Берлинѣ, Цейссъ въ Іенѣ и т. д., всѣ эти имена связаны съ важными открытіями, сдѣланными въ области органической жизни въ послѣднія сорокъ лѣтъ; бо́льшая часть этихъ открытій возможна была только съ микроскопами, выпущенными изъ упомянутыхъ мастерскихъ.

Употребленіе микроскопа. То широкое распространеніе, которое въ послѣднее время нашелъ микроскопъ въ различныхъ отросляхъ какъ науки, такъ и практической жизни и постоянно возрастающая склонность къ микроскопическимъ работамъ побуждаютъ насъ прибавить здѣсь нѣсколько словъ касательно обращенія съ микроскопомъ.

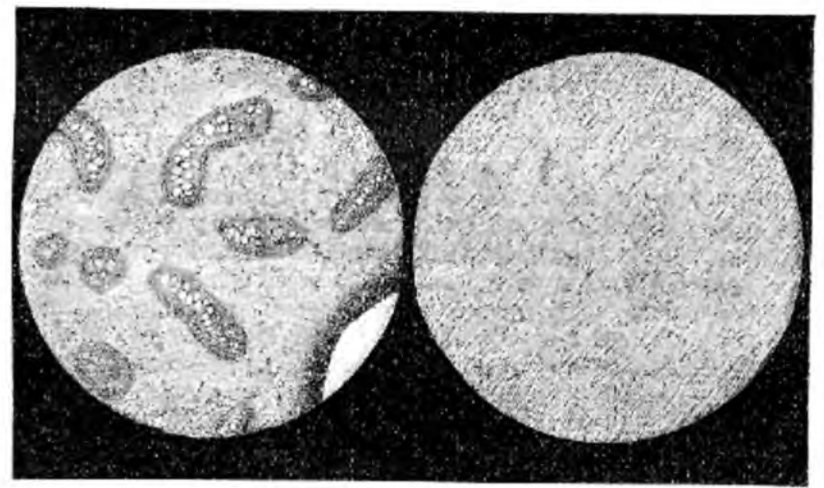
Тѣмъ, которые не довольствуются разсматриваніемъ готовыхъ препаратовъ, каковые находятся всюду въ продажѣ, но сами себѣ достаютъ предметы, профессоръ Виллькоммъ рекомендуетъ пріобрѣсть собраніе слѣдующихъ вспомогательныхъ вещей: наборъ подставокъ для предметовъ, состоящій изъ маленькихъ прямоугольныхъ пластинокъ зеркальнаго стекла, толщиною около 2 мм., затѣмъ весьма тонкія стеклянныя пластинки для прикрытія препаратовъ, такъ называемыя покровныя стеклышки, нѣсколько острыхъ ножей и иголокъ для препарированія, ножницы, пинцетъ, оселокъ, точильный ремень, нѣсколько кисточекъ, часовыхъ стеколъ, стеклянныхъ палочекъ, фарфоровыхъ чашечекъ, спиртовую лампу, маленькую лупу и наборъ химическихъ реагентовъ, именно уксусную кислоту, растворъ хлористаго кальція, глицеринъ, растворъ іода, абсолютный алкоголь, разведенная сѣрная кислота, азотная кислота, копаловый лакъ, канадскій бальзамъ и сахарный растворъ. Въ качествѣ препаровочныхъ ножей могутъ служить тонкія англійскія бритвы съ клинками, отточенными тонко и совершенно ровно (безъ углубленій): слѣдуетъ чаще ихъ натачивать о ремень; для твердыхъ предметовъ, какъ рогъ, дерево и т. д., слѣдуетъ употреблять ножи съ болѣе твердыми клинками, отточенными на одной сторонѣ плоско; мягкіе предметы, разрѣзы частей растеній или очень малыхъ предметовъ, волосковъ и т. п., препарируютъ, защемляя ихъ между двумя половинами корковой пробки и отрѣзывая перпендикулярно къ продольной оси тонкія кружки пробки. При разрѣзываніи такихъ тонкихъ предметовъ, какъ волосъ, полезно склеивать ихъ по нѣскольку вмѣстѣ растворомъ гумми-арабика. Препаровочныя иглы состоятъ изъ вполнѣ тонкой, твердой стали и оттачиваются на мелкомъ оселкѣ такъ, чтобы имѣли остріе безъ малѣйшей ржавчины. Кромѣ прямыхъ иглъ при наблюденіи употребляютъ также иглы съ остріями, загнутыми въ видѣ крючка.

Часто приходится микроскопически изслѣдывать минералы и горныя породы; подобнаго рода изслѣдованія особенно въ послѣднія тридцать лѣтъ, благодаря трудамъ такихъ лицъ, какъ Сорби, Циркель, Фогельзангъ, Фишеръ, Розенбушъ, Михель Леви и др., привели къ важнымъ результатамъ. Здѣсь рѣчь идетъ о другомъ способѣ приготовленія препаратовъ. Прежде довольствовались разсматриваніемъ подъ микроскопомъ мелкаго порошка или маленькихъ каменныхъ осколковъ, достаточно тонкихъ для того, чтобы быть еще прозрачными; однако этотъ способъ несовершененъ, и имъ нельзя достичь рѣзкой установки; только тогда, когда научились приготовлять изъ твердаго каменнаго матеріала столь тонкія пластинки, что онѣ становились вполнѣ прозрачными, матеріалъ для изслѣдованія сталъ готовиться, какъ слѣдуетъ. Уже Вилльямъ Николь показалъ, какъ дѣлать такіе „тонкіе шлифы“, а извѣстный англійскій физикъ сэръ Давидъ



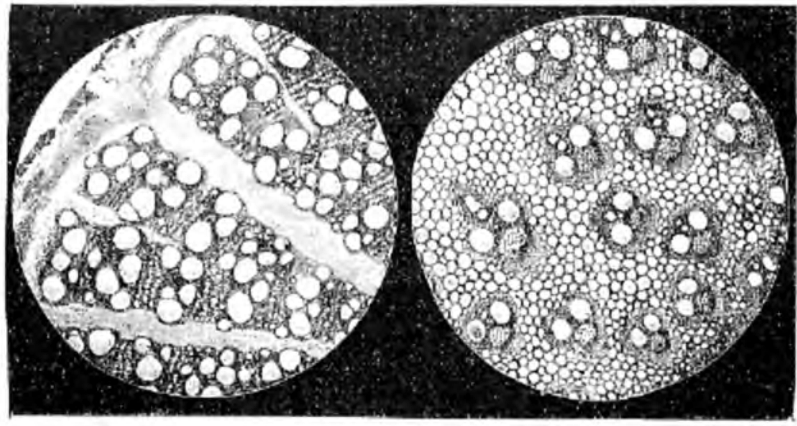
487. Трепелъ билина.

488. Сланецъ орана.



489. Поперечное сѣченіе черешка орляка (Pteris aquilina).

490. Зубчатыя устьица въ верхней кожицѣ хвоща (Equisetum).



491. Пучокъ сосудовъ кирказона.

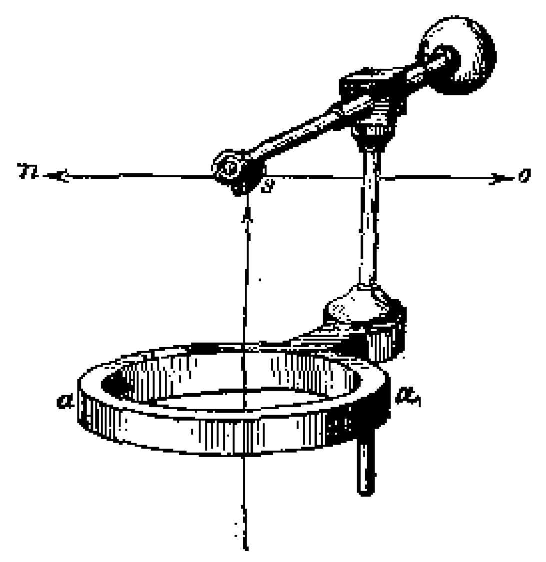
492. Пучокъ сосудовъ испанскаго тростника.

По микрофотографіи д-ровъ Бурггерта и Фюрстенберга

Брюстеръ дѣлалъ съ ними важныя наблюденія надъ строеніемъ кристалловъ, надъ вкрапинами, надъ образованіемъ минераловъ (1813—45).

Но только послѣ того, какъ Сорби издалъ свою знаменитую работу „о микроскопическомъ строеніи кристалловъ, какъ признакѣ минераловъ и горныхъ породъ", этотъ методъ изслѣдованія, благодаря своей выдающейся плодотворности былъ всѣми принятъ, и микроскопъ вошелъ въ употребленіе, какъ самое подходящее вспомогательное средство для минералогическихъ и петрографическихъ изслѣдованій. Затѣмъ Фердинандъ Циркель своими обширными работами и своимъ образцовымъ воспроизведеніемъ наблюдаемыхъ предметовъ сильно содѣйствовалъ тому, что этотъ способъ изслѣдованія получилъ широкое распространеніе.

Тонкіе шлифы готовятся изъ плоскихъ пластинокъ, которыя откалываются отъ куска ударами молота въ видѣ обломковъ, или отпиливаются помощью маленькой круглой пилы. Затѣмъ эти пластинки съ одной стороны шлифуются по возможности плоско и гладко: для этого ихъ отшлифовываютъ на ровной желѣзной пластинкѣ помощью мелкаго порошка шмергеля, рукою или шлифовальнымъ дискомъ, къ ровной сторонѣ котораго прижимается пластинка.



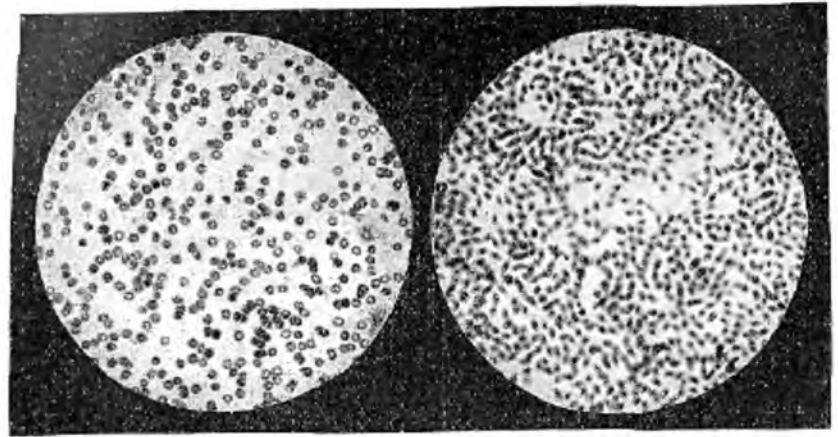
493. Зеркало Зёммеринга.

Полученная такимъ образомъ гладкая и плоская поверхность приклеивается канадскимъ бальзамомъ на маленькую пластинку изъ зеркальнаго стекла и совершенно также шлифуется на другой сторонѣ до тѣхъ поръ, пока она не станетъ настолько тонкою, что чрезъ нее можно будетъ ясно видѣть мелкій печатный шрифтъ.

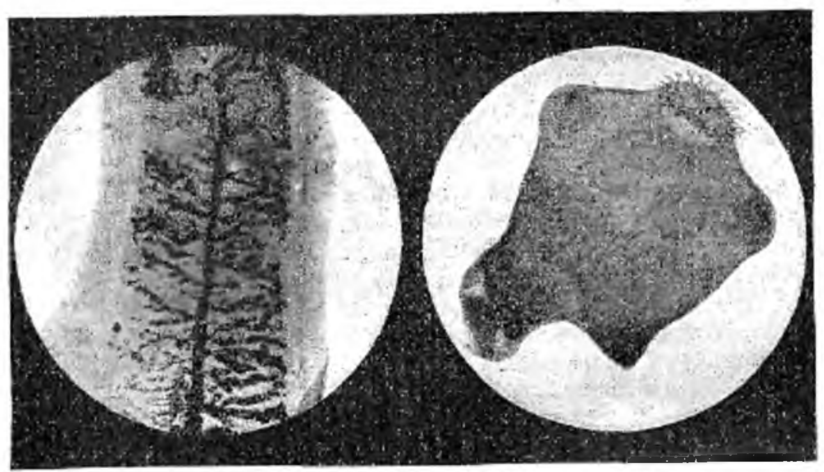
Для нѣкоторыхъ минераловъ эта толщина должна быть менѣе 0,02 мм. Затѣмъ пластинка очищается отъ шлифовальной пыли, и для защиты препарата наклеивается помощью канадскаго бальзама тонкое покровное стекло, и препаратъ готовъ для изслѣдованія подъ микроскопомъ. Здѣсь мы видимъ, что тѣ минеральныя составныя части, изъ которыхъ сложена разсматриваемая порода, расположены отдѣльно одна возлѣ другой; по цвѣту, формѣ, строенію, оптическимъ свойствамъ, по крапинамъ и т. д. можно не только опредѣлить съ большой точностью минералогическую природу составныхъ частей, но и сдѣлать важныя заключенія относительно того, какъ образовалась данная порода, медленнымъ ли или быстрымъ охлажденіемъ расплавленной массы, въ присутствіи ли паровъ или выдѣленіемъ изъ воды и т. д.

Когда говорилось о поляризованномъ свѣтѣ, мы уже видѣли, что тѣла кристаллическія и аморфныя различно относятся къ нему, и притомъ первыя опять различно въ зависимости отъ той кристаллической системы, къ которой они принадлежатъ. Столь тонкое различіе легко наблюдать на шлифахъ при помощи поляризаціоннаго микроскопа, т.-е. измѣрительнаго прибора, представляющаго соединеніе микроскопа съ поляризаціоннымъ приборомъ.

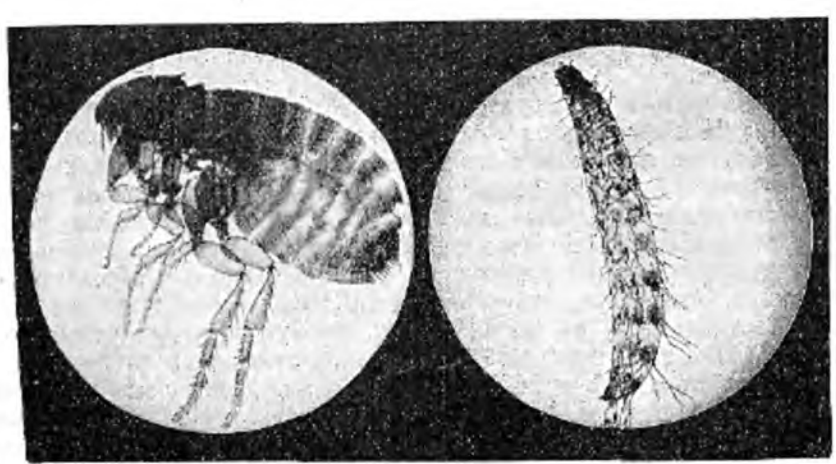
Что касается до цѣны микроскопу, то естественно она обусловливается тою цѣлью, съ которой его употребляютъ, его выполненіемъ и его качествами. За цѣну во 100 марокъ можно имѣть отъ вышеупомянутыхъ фирмъ микроскопы, имѣющіе три системы объективовъ съ линейнымъ увеличеніемъ въ 15—100 разъ, въ ящикѣ и съ принадлежностями, достаточные для многихъ изслѣдованій. Одинъ изъ совершенныхъ приборовъ, напр. цейссовскій микроскопъ съ иммерзіонной системой, съ точными измѣрительными, освѣтительными и поляризаціонными приспособленіями, вмѣстѣ съ принадлежностями стоитъ до 1000 марокъ и болѣе.



494. Человѣческая кровь. 495. Птичья кровь.



496. Зрѣлый членъ солитера. 497. Голова солитера (Taenia)



498. Блоха (Pulex felis) 499. Личинка блохи.

По микрофотографіи д-ровъ Бурштерта и Фюрстенберга

Къ инструментамъ почти всегда бываютъ приложены данныя относительно увеличенія различныхъ объективныхъ системъ. Для опредѣленія увеличенія служитъ стеклянный микрометръ съ мелкими дѣленіями, который кладется на предметный столикъ и на который точно наводится микроскопъ. Поверхъ окуляра, какъ разъ на его оси помѣщаютъ или камеру люциду или Зёммерингово зеркало (рис. 493), т.-е. маленькое плоское металлическое зеркало (величиной около половины человѣческаго зрачка), наклоненное подъ угломъ въ 45^0, такъ что если смотрѣть въ зеркало въ горизонтальномъ направленіи, то видно увеличенное микроскопомъ и отраженное отъ зеркала изображеніе стекляннаго микрометра; это изображеніе проектируется глазомъ на помѣщаемую въ разстояніи наилучшаго видѣнія миллиметровую шкалу, и по числу миллиметровъ, которые покрываются опредѣленнымъ числомъ увеличенныхъ дѣленій стекляннаго микрометра, можно судить объ увеличеніи микроскопа.

Самое сильное увеличеніе, достигаемое въ лучшихъ инструментахъ, можетъ простираться до 3000. Обыкновенно не превосходятъ этого предѣла, и вѣроятно онъ есть самый крайній, до котораго можетъ простираться увеличительная способность системы чечевицъ; по крайней мѣрѣ въ настоящее время нѣтъ возможности пользоваться бо́льшими увеличеніями; уже при увеличеніи свыше 1000 разъ изображенія бываютъ часто такъ неясны, что не имѣютъ значенія для научныхъ цѣлей.

На парижской выставкѣ 1867 г. былъ микроскопъ Гартнака, который при одновременномъ примѣненіи самаго сильнаго объектива и самаго сильнаго окуляра давалъ линейное увеличеніе въ 5000 разъ, причемъ изображеніе было еще свѣтло; однако при такихъ увеличеніяхъ настолько уменьшается отчетливость изображеній, что послѣднія не удовлетворяютъ точнымъ наблюденіямъ и выводамъ. Поэтому въ новѣйшее время не столько обращаютъ вниманія на увеличеніе микроскопа, сколько стараются, пользуясь успѣхами техники, получать, внутри вышеупомянутыхъ предѣловъ, изображенія свѣтлыя, ясныя, отчетливыя. Въ обыкновенныхъ микроскопахъ можно получать большее увеличеніе выдвиганіемъ трубъ, удаленіемъ окуляра отъ объектива, и нужно принимать въ соображеніе это обстоятельство, если при испытаніяхъ инструментовъ увеличеніе, повидимому, не соотвѣтствуетъ даннымъ числамъ.

Микроскопъ можетъ допускать значительное увеличеніе и, несмотря на то, давать негодныя изображенія. Поэтому при оцѣнкѣ инструмента яркость и отчетливость изображеній имѣютъ болѣе существенное значеніе, нежели увеличеніе. Существуютъ извѣстные препараты, напр. пылеобразныя чешуйки распространенной въ Германіи дневной бабочки Hipparchia Janira, которыя имѣются въ подходящей формѣ въ продажѣ у оптиковъ, и которыя весьма пригодны въ качествѣ пробныхъ предметовъ для испытанія микроскоповъ. Эти чешуйки при достаточномъ увеличеніи даютъ большое число параллельныхъ жилокъ, которыя при болѣе сильномъ увеличеніи оказываются сѣтчатой тканью съ весьма тонкими связанными между собою поперечными линіями. Если эти поперечныя линіи хорошо видны въ инструментъ средней величины при увеличеніи въ 300—400 разъ, то инструментъ хорошъ. Въ качествѣ пробныхъ предметовъ рекомендуются далѣе ромбическія полоски Navicula pleurosigma или нобертовскія интерференціонныя стеклянныя пластинки, на которыхъ помощью алмаза нацарапаны 7 группъ линій, съ постепенно убывающими промежутками отъ 0,01 мм. до 0,0001 мм.

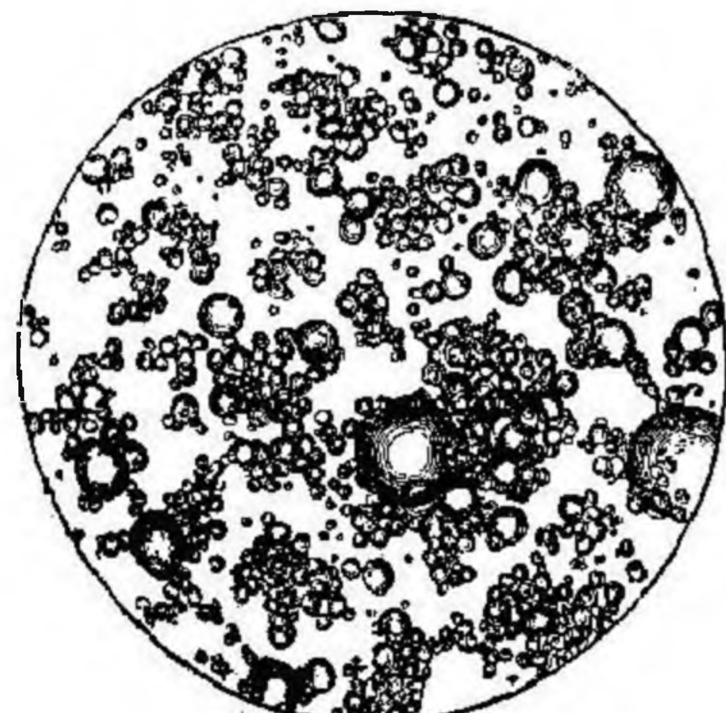
Если начинающій не получаетъ сразу хорошихъ изображеній въ своемъ микроскопѣ, то на послѣдній нельзя тотчасъ же смотрѣть, какъ на негодный. Вина чаще лежитъ на самомъ наблюдателѣ, а также заключается въ приготовленіи препаратовъ. Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ проходящій

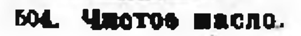
500. **Мѣль.**

501. **Известковый мѣлъ.**

502. **Гуано.**

503. **Анатомія еловаго дерева**; верхняя половина — поперечное сѣченіе; нижнія половины: справа — радіальное сѣченіе; слѣва — тангенціальное.





504. **Чистое масло.**



505. **Чистый льняной батистъ.**

свѣтъ предпочтительнѣе падающаго, то предметы слѣдуетъ приготовлять въ формы нѣжныхъ тонкихъ пластинокъ, что не легко; предварительное изслѣдованіе съ лупой уже обнаружитъ, удачно ли она приготовлена или нѣтъ. Затѣмъ препаратъ смачиваютъ каплей чистой воды и, положивъ на предметное стекло, накрываютъ покровнымъ стеклышкомъ, причемъ между ними не должно быть ни пузырьковъ воздуха, ни частичекъ посторонних тѣлъ. Вообще при приготовленіи необходима крайняя опрятность, стекла должны быть всякій разъ чисты, самое лучшее ихъ протирать помощью стараго стираннаго полотнянаго лоскутка матеріи. Химическіе реагенты, иногда употребляемые для обработыванія предметовъ, не должны приходить въ соприкосновеніе ни съ металлическими частями, ни съ чечевицами микроскопа, потому что послѣднія состоятъ изъ сортовъ стекла, содержащихъ свинецъ и весьма легко поддающихся дѣйствію реагентовъ.

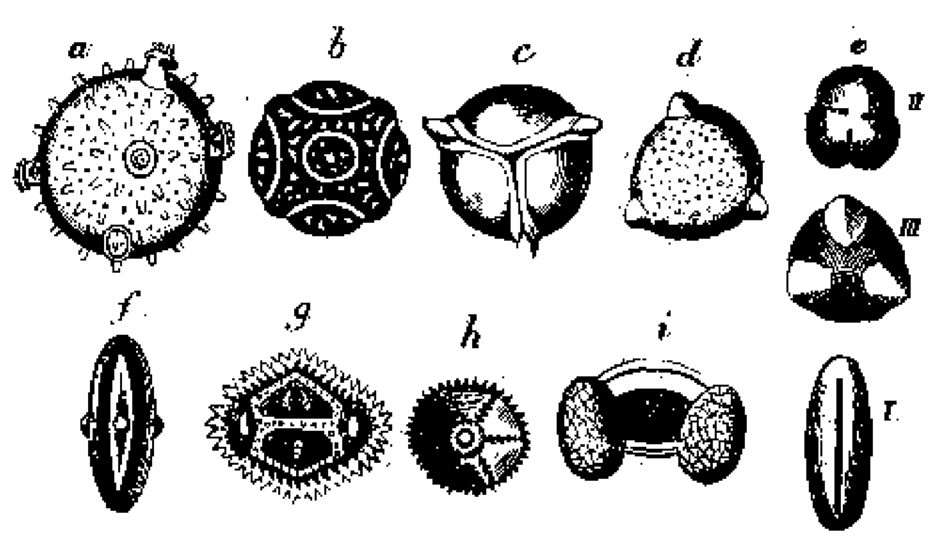
При изслѣдованіи микроскопомъ лучше всего пользоваться сначала слабыми увеличеніями при большомъ полѣ зрѣнія, и только, когда найдены подходящія части предмета, брать болѣе сильныя стекла. Особенно хорошіе препараты изъ органическихъ образованій получаются, если въ огражденіе отъ внѣшнихъ неблагопріятныхъ вліяній оклеить края покровнаго стеклышка бумагой и покрыть асфальтовымъ лакомъ или растворомъ копаловаго лака въ винномъ спиртѣ. Прозрачность сохраняется тѣмъ, что между обоими стеклами передъ складываніемъ и покрываніемъ лакомъ, смотря по природѣ препарированныхъ тѣлъ, помѣщаютъ каплю воды, виннаго спирта, скипидара, канадскаго бальзама, раствора хлористаго кальція и т. п. Тонкіе шлифы, какъ уже сказано, вклеиваются канадскимъ бальзамомъ.

Что разсматриваютъ микроскопомъ? Нѣтъ возможности, хотя бы даже и въ общихъ чертахъ, показать, какое вліяніе имѣлъ микроскопъ на развитіе всѣхъ естественныхъ наукъ. Это составило бы объемистое сочиненіе. Если уже въ неорганическомъ мірѣ горныхъ породъ пришли благодаря микроскопу къ неожиданнымъ заключеніямъ, то почти вся исторія органическихъ наукъ представляетъ парафразу открытій, имѣющихъ связь съ изобрѣтеніемъ миддельбургскаго оптика. Поэтому послѣ нѣсколькихъ заключительныхъ замѣчаній покинемъ отдѣлъ оптики и посмотримъ, какую пользу принесли изслѣдованіе и знакомство съ изумительными свѣтовыми явленіями. Если мы бросимъ бѣглый взглядъ на вновь открывающійся предъ нами міръ самыхъ малыхъ пространствъ, то мы замѣтимъ только внѣшній видъ богатыхъ ландшафтовъ; подробности же открываются только тому, кто въ состояніи углубиться въ болѣе обстоятельное изслѣдованіе.

Телескопъ расширилъ границы нашихъ познаній, давъ возможность проникать глазомъ въ таинственныя безконечныя пространства. Микроскопъ знакомитъ насъ съ образованіемъ вещей, разлагая ихъ на отдѣльныя составныя части; онъ даетъ намъ возможность дѣлать заключенія какъ относительно способа возникновенія всего существующаго, такъ и о взаимодѣйствіи силъ, участвовавшихъ въ тѣхъ измѣненіяхъ и образованіяхъ, слѣды которыхъ видны въ далекомъ прошломъ. Возьмите въ руку кусокъ мѣла и помѣстите подъ микроскопъ приставшую къ вашимъ пальцамъ мелкую пыль! Какое богатство правильныхъ образованій, обязанныхъ своимъ происхожденіемъ органической жизни! Вся масса бѣлаго куска состоитъ изъ однихъ мелкихъ кремнистыхъ и известковыхъ панцырей вымершихъ животныхъ, изъ скорлупъ и скелетовъ политаламіевъ, которые настолько малы, что въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ ихъ укладывается болѣе 298 000 милліоновъ. Въ Альпахъ существуютъ горы въ нѣсколько тысячъ метровъ высоты, образованныя только такими животными остатками, а мѣловая формація простирается отъ 57° сѣверной широты до мыса Горна. И всѣ эти отдѣльныя частицы различаются между собою въ своемъ происхожденіи и мо-

гутъ быть приведены въ систему, подобную нашей классификаціи рыбъ или птицъ!

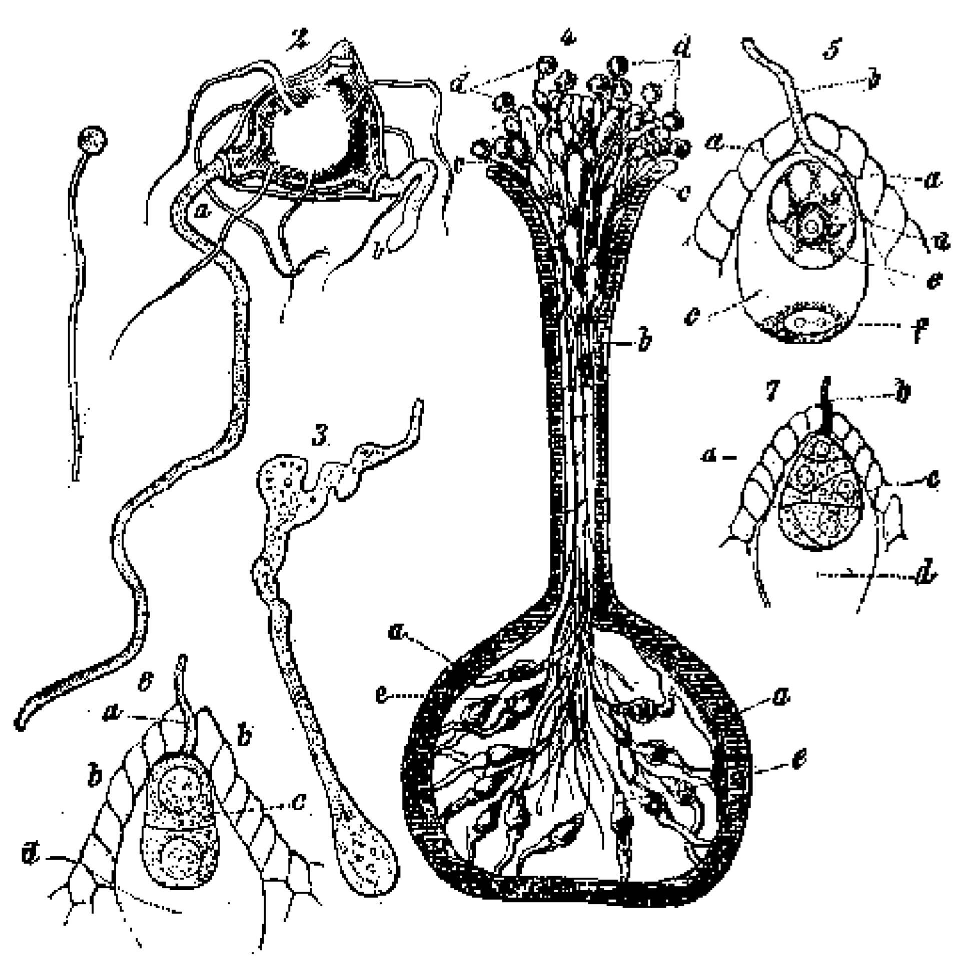
Эренбергъ, знаменитый изслѣдователь микроскопическаго міра, обогатившій эту область естествознанія столь большимъ числомъ новыхъ фактовъ, насчитывалъ въ гравезендскомъ мѣлѣ (рис. 500) 51 различныхъ скорлупъ политаламіевъ; въ другомъ сортѣ известковаго мѣла (рис. 501) онъ нашелъ ихъ 43, и изъ сравненія приведенныхъ на обоихъ рисункахъ формъ легко понять, какъ вооруженный глазъ обнаруживаетъ образованія различнаго происхожденія, раздѣленныя между собою временемъ и пространствомъ, а также и вліяніе позднѣйшихъ эпохъ.



506. **Цвѣточная пыль.**

Пылинки растеній: *a* тыквы, *b* страстоцвѣта, *c* Cuphea procumbens, *d* воронки, *e* вьюнка, *f* вербишника, *g* блошника, *h* цикорія, *i* сосны.

Результаты микроскопическихъ изслѣдованій Эренберга надъ горными породами, въ особенности надъ слоистыми осадочными породами, дали начало самостоятельной наукѣ, микрогеологіи, которая составляетъ самую важную главу въ исторіи образованія земли.



507. **Оплодотвореніе сѣменныхъ растеній.**

Разсмотримъ растительный міръ! Вотъ прозрачный, быстрый ручей; дно его покрыто сочнымъ зеленымъ дерномъ, образуемымъ сплетенными вѣтвями водорослей. Ранней весной отдѣлимъ кусочекъ дерна для наблюденія и осторожно распутаемъ нѣсколько нитей. Микроскопъ покажетъ намъ, что онѣ состоятъ изъ простыхъ или болѣе сложныхъ, раздѣленныхъ на клѣтки, трубочекъ; въ послѣднихъ заключены шарики или зернышки. Эти такъ называемыя споры, когда придетъ время, начинаютъ распирать свою темницу до тѣхъ поръ, пока не разорвутъ ея стѣнокъ; тогда онѣ выбиваются поодиночкѣ или кучками и приходятъ въ оживленное движеніе, плаваютъ въ водѣ туда и сюда, всплываютъ, погружаются, такъ что можно было бы подумать, что изъ растеній произошло животное. Однако дѣло обстоитъ здѣсь нѣсколько иначе.

Это замѣчательное тѣльце плаваетъ при помощи нѣжныхъ, необыкновенно быстро движущихся волосковъ или рѣсницъ, на подобіе плавательныхъ лапъ, но движеніе его вполнѣ непроизвольно и зависитъ отъ тысячи

случайностей; тѣльце это натыкается на встрѣчающееся препятствіе и часто остается въ движеніи непосредственно возлѣ стѣнки сосуда, отъ которой существа, обладающія произвольнымъ движеніемъ, быстро отскакиваютъ. Это движеніе рѣсницъ есть весьма общее явленіе природы, какъ въ мірѣ животномъ, такъ и въ растительномъ, и истинная причина его еще не вполнѣ объяснена. Черезъ 10—12 минутъ движеніе споры начинаетъ постепенно замедляться; наконецъ, спустя часа два спора приходитъ въ покой, движенія рѣсницъ прекращаются, сами они исчезаютъ и спора принимаетъ шарообразную форму: въ нѣсколькихъ мѣстахъ образуются отростки, и изъ споры выростаетъ водоросль. Мы наблюдали образованіе растенія; спора есть зародышъ растенія. Какъ велика такая спора? Невооруженнымъ глазомъ ее трудно видѣть, но при увеличеніи въ 400 разъ она кажется величиной въ вишневую косточку и почти также сложена. Микроскопъ обнаруживаетъ намъ, какъ эти первыя движенія растеній, такъ и тайны ихъ высшаго развитія; при помощи его мы знакомимся съ сущностью оплодотворенія и съ отправленіями отдѣльныхъ частей цвѣтка. Взглянемъ простымъ глазомъ на цвѣточную пыль (пыльцу, какъ называютъ ботаники) растеній; мы увидимъ не что иное, какъ чрезвычайно мелкій порошокъ, по большей части желтаго цвѣта. Но помѣстимъ его подъ микроскопъ: порошокъ, имѣющій видъ муки, превращается въ правильно образованныя тѣльца; ихъ опредѣленныя формы позволяютъ намъ узнать съ точностью то материнское растеніе, отъ котораго они происходятъ. Каждое зернышко состоитъ изъ внутренняго, имѣющаго въ высшей степени нѣжную оболочку тѣла, окруженнаго внѣшней оболочкой съ различными шишками, шипиками и т. д.; изъ имѣющихся въ послѣднихъ отверстій тѣло имѣетъ выходъ, какъ это изображено въ *c*, *d* и *e* III на рис. 506. Если прослѣдить дальнѣйшее развитіе этихъ зернышекъ, то станетъ ясно, почему они имѣютъ эту форму. Мы знаемъ, что кромѣ т ы ч и н о к ъ, содержащихъ въ своихъ п ы л ь н и к а х ъ цвѣточную пыль, у цвѣтка имѣется въ п е с т и к ѣ еще органъ оплодотворенія. Пестикъ этотъ, представленный въ увеличенномъ видѣ на рис. 507 (4), состоитъ изъ нижней расширенной части з а в я з и *a*, къ которой прикрѣплены на толстыхъ ножкахъ яички *e*, изъ с т о л б и к а *e* и изъ верхней части р ы л ь ц а, образованнаго нѣжными пузырчатыми клѣтками, выдѣляющими клейкую, сахаристую жидкость. Помощью этой влаги рыльце удерживаетъ попадающую на нее пыльцу и вызываетъ въ послѣдней набуханіе внутренней тонкой оболочки, которая выступаетъ изъ отверстій внѣшней оболочки въ формѣ нитевидныхъ трубочекъ. Образованіе пыльцевыхъ трубочекъ называется прорастаніемъ пыльцы.

Первою изображена простая пылинка ландыша, подъ 2 — иванъ-чая, подъ 3 — дерябки; 4 же показываетъ, какъ пыльцевыя трубочки, въ которыя вытекаетъ содержимое пылинки, прорастаютъ чрезъ столбикъ, часто очень длинный, въ завязь, гдѣ проникаютъ чрезъ сѣмявходъ въ открытыя сверху яички (ф. 5, 6 и 7) и здѣсь сліяніемъ своего содержимаго съ ядромъ яичка производятъ оплодотвореніе.

5 и 6 изображаютъ вышеупомянутый процессъ въ различныхъ его стадіяхъ у царскаго вѣнца, тогда какъ 7 представляетъ многоклѣточный зародышъ *c* тропическаго водяного растенія Pictia obovata.

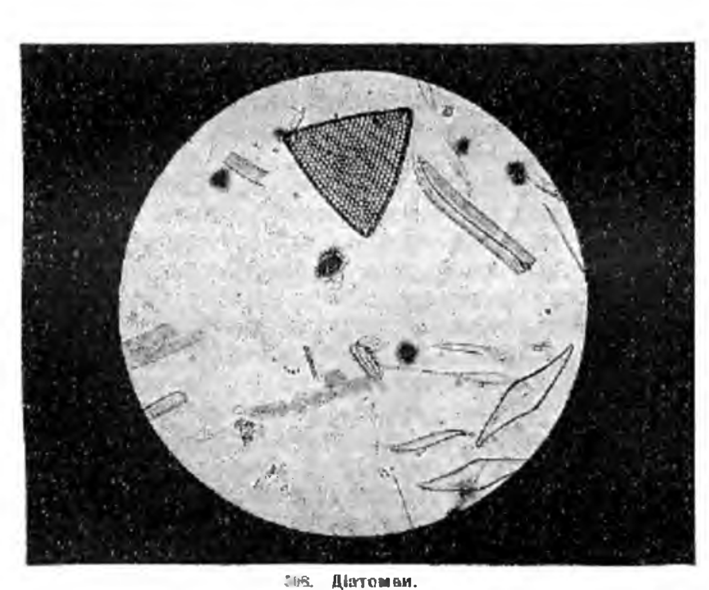
Однако эти открытія еще не составляютъ предѣла, котораго можно достичь съ микроскопомъ. Мы не можемъ входить здѣсь въ болѣе подробныя изслѣдованія, такъ какъ пониманіе ихъ предполагало бы знакомство съ другими предварительными понятіями, которыя не входятъ въ нашу задачу. Уже изъ предыдущаго явствуетъ, что пріобрѣтенныя вышеупомянутымъ путемъ воззрѣнія прояснили нашъ взглядъ на сущность органическихъ явленій, и что это знаніе даетъ намъ средства заботиться раціональнымъ образомъ о

растительности, цвѣтахъ и плодахъ, отвращать вредныя вліянія и повышать необходимую для нашихъ цѣлей дѣятельность растительнаго царства.

Только при помощи микроскопа мы ознакомились съ элементарной составной частью растеній, съ клѣткой, и, благодаря физіологіи растеній, занимающейся измѣненіями органическаго образованія и роста, ботаника стала настоящей наукой.

Та непріятная плѣсень, которая встрѣчается на нашемъ хлѣбѣ и на другой пищѣ, превращается подъ микроскопомъ въ весьма красивый лѣсъ, превосходящій богатствомъ формъ наши лиственные и хвойные лѣса. Плѣсень на виноградѣ состоитъ изъ нитевидныхъ клѣтокъ, размножающихся или дѣленіемъ или при помощи особаго пыльника съ большимъ числомъ зародышевыхъ клѣтокъ. Этимъ путемъ растеніе распространяется очень быстро.

Не только болѣзни картофеля, но и болѣзни животныхъ и людей, напр. молочница у дѣтей, характеризуются появленіемъ особыхъ растеній, именно грибныхъ образованій; по новѣйшимъ изслѣдованіямъ весьма вѣроятно, что большое число болѣзней, при которыхъ происходятъ химическія измѣненія въ крови и сокахъ тѣла, стоятъ въ тѣсной зависимости съ существованіемъ микроскопическихъ, растительныхъ или животныхъ организмовъ.



308. **Діатомеи.**
По микрофотографіи д-ровъ Бургерта и Фирстенберга.

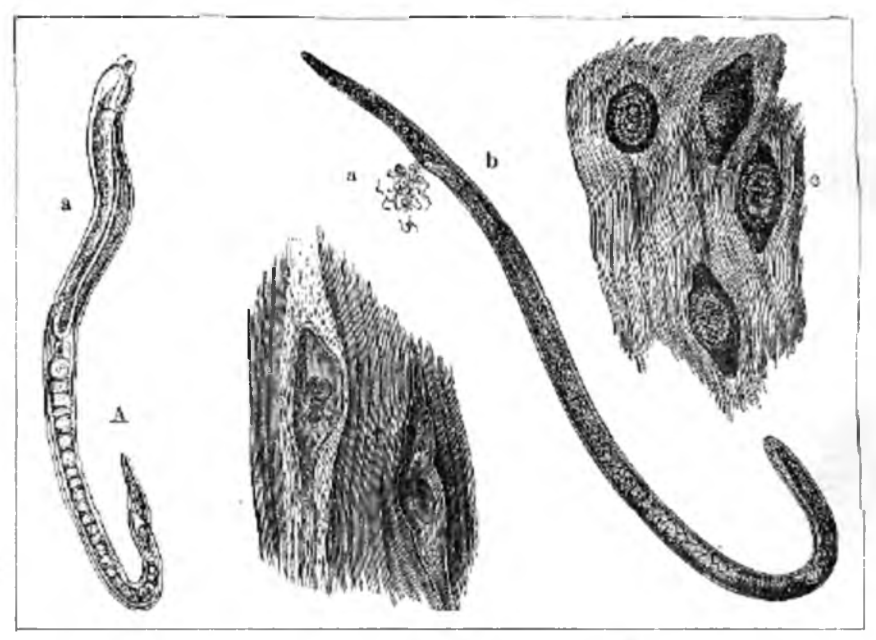
Грибки, бактеріи, бациллы, — кто не слыхалъ, что эти низшія формы органической жизни считаются вѣроятною причиною опасныхъ человѣческихъ болѣзней: сибирской язвы, холеры, тифа, туберкулеза, дифтерита и т. д.? Они открыты микроскопомъ, и отъ этого же инструмента должно ожидать дальнѣйшаго ихъ изученія и вмѣстѣ съ тѣмъ нахожденія самыхъ дѣйствительныхъ способовъ борьбы съ ними.

Животный и растительный міры, разсматривавшіеся въ прежней систематикѣ какъ два рѣзко разграниченныхъ царства, соприкасаются между собою въ весьма различныхъ областяхъ; ихъ различія исчезаютъ по мѣрѣ того, какъ мы углубляемся помощью микроскопа въ изученіе ихъ сущности.

Діатомеи, эти мельчайшія созданія, которыя видны простымъ глазомъ только въ количествѣ нѣсколькихъ милліоновъ, состоятъ изъ кремнистой оболочки съ слизистымъ содержимымъ и имѣютъ видъ то кораблика, то палочки, лѣстницы, рѣшета, диска и т. д. Ихъ баснословно быстрое размноженіе идетъ путемъ дѣленія и роста одного изъ другого. Онѣ растутъ и живутъ въ водѣ и влажной почвѣ, но какъ живутъ? Нельзя открыть ни одного слѣда органовъ для принятія пищи или другихъ животныхъ признаковъ; но подъ обыкновенное понятіе растенія эти созданія не подходятъ. Онѣ представляютъ изъ себя, такъ сказать, первоначальныя ступени органи-

ческой жизни. Эренбергъ каше.лъ, что почти весь Берлинъ стоитъ на такихъ существахъ, которыя еще живутъ въ верхнихъ слояхъ. Такъ какъ ихъ кремнистые панцыри не разлагаются, то, естественно, количество умершихъ экземпляровъ громадно. Ихъ катакомбы представляютъ изъ себя склады инфузорной земли, горной муки и мергелевыхъ горныхъ породъ, образующихъ подобно мѣлу цѣлыя горы. Рис. 508 изображаетъ группу діатомей.

Микроскопъ принесъ существенную пользу не только ботаникѣ, но и тѣмъ наукамъ, которыя имѣютъ дѣло съ животнымъ организмомъ. Въ леченіи болѣзней грубый эмпиризмъ долженъ былъ уступить мѣсто раціональнымъ методамъ съ тѣхъ поръ, какъ познакомились съ дѣятельностью нервовъ, кожи, мускуловъ и научились относить измѣненія, происходящія въ нормаль-



509
Самецъ трихины.

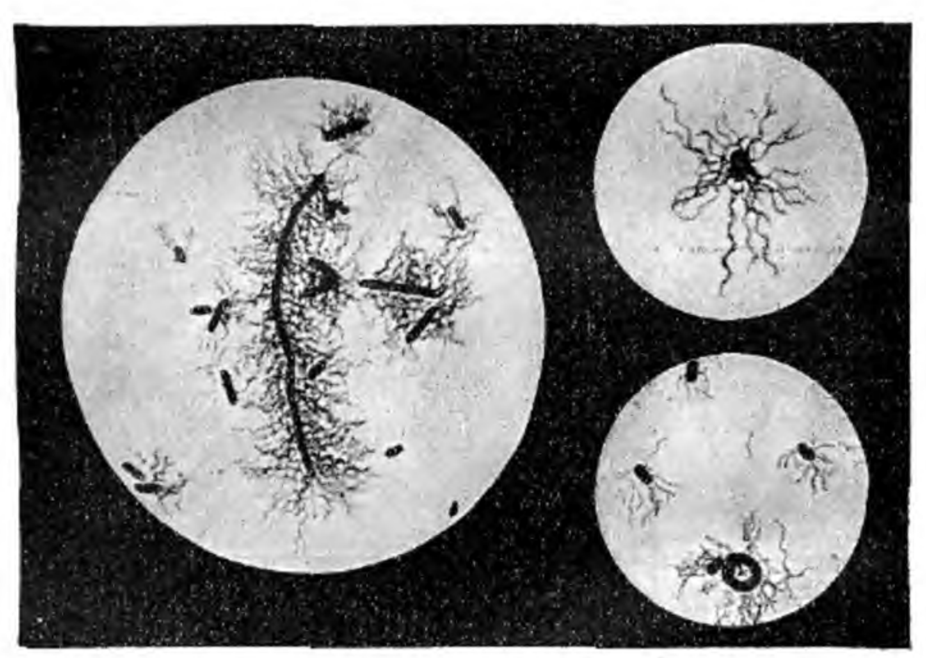
510. a кусокъ мяса съ разрѣзомъ капсулъ трихинъ, b самка трихины, c мясо съ отложенными навестковыми трихинными капсулами.

номъ ходѣ тѣлесныхъ отправленій, къ ихъ истиннымъ причинамъ. Микроскопъ самымъ точнымъ образомъ отличаетъ человѣческую кровь отъ животной и съ одинаковой вѣрностью обличаетъ преступленіе и открываетъ поддѣлку полотняной ткани или дорогихъ пряностей.

Теперь могутъ сосчитать число кровяныхъ шариковъ, заключающихся въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ того „особаго сока“, который поддерживаетъ нашу жизнь, и увеличивать или уменьшать ихъ количество. Наши важнѣйшія орудія всѣхъ знаній, органы чувствъ стали извѣстны въ своихъ сокровеннѣйшихъ отправленіяхъ только благодаря микроскопическимъ изслѣдованіямъ ихъ внутренняго строенія.

Можно найти разительные примѣры этому, не обращаясь въ далекое прошлое. Въ 1860 году д-ръ Ценкеръ въ Дрезденѣ открылъ, что въ мускулахъ умершихъ людей находятся въ большемъ или меньшемъ количествѣ маленькія паразитныя животныя, трихины, существованіе которыхъ было извѣстно уже въ началѣ тридцатыхъ годовъ, и что присутствіе ихъ въ мясѣ мускуловъ живыхъ людей повидимому вызываетъ опасную болѣзнь трихинозъ. Число наблюдаемыхъ болѣзненныхъ случаевъ чрезвычайно воз-

росло съ тѣхъ поръ, какъ было обращено вниманіе на этихъ паразитовъ, и такъ какъ нерѣдко приходилось приписывать наступающій мучительный смертельный исходъ массовому существованію такихъ животныхъ, фактъ этотъ получилъ большое значеніе. Изъ наблюденій надъ кишечными глистами, а именно благодаря изслѣдованіямъ надъ солитерами, стало извѣстно, что одни животныя производятъ нѣкоторыя фазы въ жизни различныхъ болѣе крупныхъ животныхъ; такъ по нѣкоторымъ слѣдамъ нашли, что трихины попадаютъ въ тѣло человѣка преимущественно вмѣстѣ съ сырымъ свинымъ мясомъ. Вѣроятно эти внутренніе обитатели для свиньи не тягостны, въ человѣческомъ же тѣлѣ они размножаются чрезвычайно быстро и переходятъ черезъ стѣнки кишекъ въ мускулы, гдѣ окружаютъ себя известковой капсулой и вызываютъ тѣ болѣзненные симптомы, за которыми въ большинствѣ случаевъ слѣдуетъ неизбѣжная смерть. Конечно трихины



511. **Proteus vulgaris.** 512 и 513. **Бациллы тифа.**

не составляютъ принадлежности нашего времени: онѣ существовали и раньше и вызывали, какъ и теперь, внезапные смертельные исходы. Но по незнанію истинной причины строили всевозможныя предположенія. Бывали случаи, что производилось слѣдствіе по подозрѣнію въ умышленномъ отравленіи, неосновательность котораго оказалась только послѣ того, какъ во вновь выкопанныхъ трупахъ возможно было обнаруживать присутствіе трихинъ.

Явилась необходимость ввести въ отношеніи къ трихинамъ обязательныя изслѣдованія свиного мяса, и въ настоящее время осмотрщики мяса выискиваютъ этихъ опасныхъ животныхъ помощью микроскопа.

Рисунки 512 и 513 изображаютъ бациллы Typhus abdominalis (брюшного тифа), отдѣльно при увеличеніи въ 1650 разъ и группами — въ 1100 разъ. Въ дѣйствительности бациллы длиной отъ 0,0025 до 0,003 мм. и приблизительно вдвое меньше толщиной. Иногда отдѣльныя бациллы соединяются вмѣстѣ и образуютъ длинныя нити, какъ напр. Proteus vulgaris (рис. 511), что можно наблюдать при соотвѣтствующей окраскѣ и при слабомъ увеличеніи.

Микроскопу человѣчество обязано не только накопленіемъ важнаго фактическаго матеріала, но и въ значительной степени также очищеніемъ понятій и разсѣяніемъ многихъ суевѣрій. Сколько ужаса когда-то вызывали напр. такъ называемые кровяные дожди. Эренбергу помощью микроскопа удалось изслѣдовать это явленіе и доказать, что оно обязано своимъ происхожденіемъ чрезвычайно малымъ, но быстро размножающимся инфузоріямъ, въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ которыхъ можетъ помѣститься нѣсколько милліардовъ. Такъ называемые сѣрные дожди, какъ оказалось, обусловливаются цвѣточною пылью нѣкоторыхъ деревьевъ. Далѣе при помощи микроскопа обнаружено, что наблюдаемое иногда свѣченіе моря вызывается миріадами мелкихъ животныхъ существъ, которыхъ въ одной каплѣ воды помѣщается нѣсколько сотъ тысячъ.

Теплота.

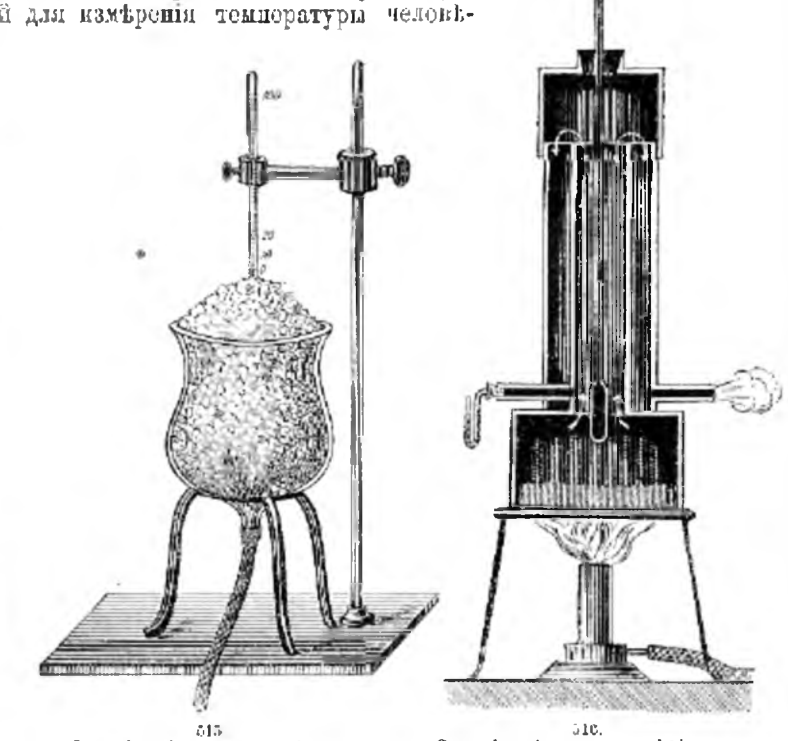
Термометрія. Воздушный термометръ Дреббеля. Ртутный термометръ. Изготовленіе ртутнаго термометра. Опредѣленіе постоянныхъ точекъ. Шкала Реомюра, Цельзія и Фаренгейта. Нормальный термометръ. Ошибки при калибрированіи и нанесеніи дѣленій. Поправка на высоту выступающаго ртутнаго столба. Термическое послѣдѣйствіе. Іенское стекло. Максимальные и минимальные термометры. Расширеніе тѣлъ при нагрѣваніи. Коэффиціентъ линейнаго расширенія. Уравнительный маятникъ. Объемное расширеніе. Расширеніе газовъ. Законъ Гей-Люссака. Опытъ Торричелли. Различныя системы барометровъ. Калориметрія. Основанія механической теоріи тепла. Плавленіе и кипѣніе. Пары насыщающіе и не насыщающіе пространство. Плотность пара. Гигрометрія. Основанія метеорологическихъ изслѣдованій. Сжиженіе газовъ. Распространеніе теплоты. Теплота въ природѣ.

Явленія внѣшняго міра доходятъ до нашего сознанія черезъ посредство головного мозга. Подобно тому, какъ слуховой нервъ передаетъ звуковыя колебанія или раздраженіе зрительнаго нерва вызываетъ впечатлѣніе свѣта, точно также осязательные нервы назначены между прочимъ для того, чтобы дать намъ возможность судить о степени нагрѣванія тѣлъ. Опустивши руку въ тающій снѣгъ, мы почувствуемъ холодъ, дотрогиваясь нагрѣтой печи, мы знаемъ, что коснулись горячаго предмета. Но такое непосредственное соприкосновеніе съ тѣломъ не можетъ намъ дать даже приблизительно вѣрнаго понятія о его температурѣ. Что одному представляется горячимъ, то другому кажется только теплымъ, да и кромѣ того одно и то же лицо въ различное время получаетъ различное впечатлѣніе относительно теплового состоянія тѣла, нагрѣтаго до той же температуры и неодинаково воспринимаетъ болѣе или менѣе быстрое измѣненіе послѣдней — все зависитъ отъ физическаго и даже психическаго состоянія субъекта. Сужденіе наше уже потому не можетъ быть вѣрнымъ, что у насъ нѣтъ впечатлѣнія о какой-либо постоянной температурѣ, съ которой бы мы могли сравнивать температуру изслѣдуемаго тѣла. Хотя, конечно, имѣя даже это впечатлѣніе, мы не могли бы себѣ объяснить, какъ и почему нервная система вообще воспринимаетъ впечатлѣніе тепла, но и одного того уже было бы достаточно, чтобы не доискиваться сразу болѣе глубокихъ причинъ для объясненія простѣйшихъ тепловыхъ явленій.

Пожалуй справедливы слова Гёте, что „каждый человѣкъ, когда ему холодно или когда онъ томится отъ зноя, является термометромъ и, сумѣй онъ также выразить свое душевное состояніе градусами Реомюра или Фаренгейта, — это уже могло бы дать ему нѣкоторое облегченіе".

Термометръ слово греческое. Какъ показываетъ его этимологическій составъ (θερμός — тепло, μέτρον — мѣра), оно должно означать приборъ, служащій для опредѣленія теплового состоянія тѣлъ. Прежде всего мы обратимся къ разсмотрѣнію такихъ термометровъ, гдѣ о тепловомъ состояніи тѣла су-

дить по измѣненію размѣровъ другого, соприкасающагося съ нимъ, тѣла подъ вліяніемъ передачи послѣднему теплоты. Смотря по физическому состоянію термометрическаго тѣла, различаютъ три отдѣльныя группы термометровъ: термометры газовые, термометры съ жидкостями и термометры съ твердымъ термометрическимъ тѣломъ; о послѣднихъ рѣчь будетъ впереди. Въ термометрахъ съ жидкостями объ измѣненіи температуры судятъ по увеличенію или уменьшенію объема жидкости, заключенной въ узкую стеклянную трубочку. Что касается исторіи этого изобрѣтенія, то нѣкоторые приписываютъ его крестьянину Корнелію Дреббелю и относятъ это изобрѣтеніе къ первой половинѣ XVII вѣка; другіе считаютъ первымъ изобрѣтателемъ въ этой области англичанина Роберта Флудда, въ Оксфордѣ, по указанію котораго врачъ Санкторіусъ въ 1660 г. построилъ особаго рода приборъ, служащій для измѣренія температуры человѣ-



514. Воздушный термометръ Дреббеля.

515. Опредѣленіе точки таянія льда.

516. Опредѣленіе точки кипѣнія воды.

ческаго тѣла. Несомнѣнно также можно признать прототипомъ (воздушнаго) термометра приборъ, построенный еще въ 1552 г. Галилеемъ для одного изъ его опытовъ; онъ состоялъ изъ узкой, открытой съ одного конца, стеклянной трубки, заполняемой воздухомъ и водой.

Такъ называемый воздушный термометръ Дреббеля (рис. 514) состоялъ изъ стеклянной трубки A, съ одного конца открытой, а съ другого конца запаянной и выдутой въ формѣ шарика. Открытымъ концомъ трубка опущена въ сосудъ B, съ подкрашенной жидкостью. Нагрѣваніемъ отчасти удаляли воздухъ изъ трубки A, такъ что жидкость изъ сосуда B, послѣ охлажденія трубки, поднималась въ ней приблизительно до черточки m. Если приборъ внесемъ въ болѣе теплое помѣщеніе, воздухъ въ шарикѣ A расширится и понизитъ уровень жидкости въ трубкѣ; обратно, если приборъ окруженъ воздухомъ болѣе низкой температуры, этотъ уровень будетъ повышаться, такъ

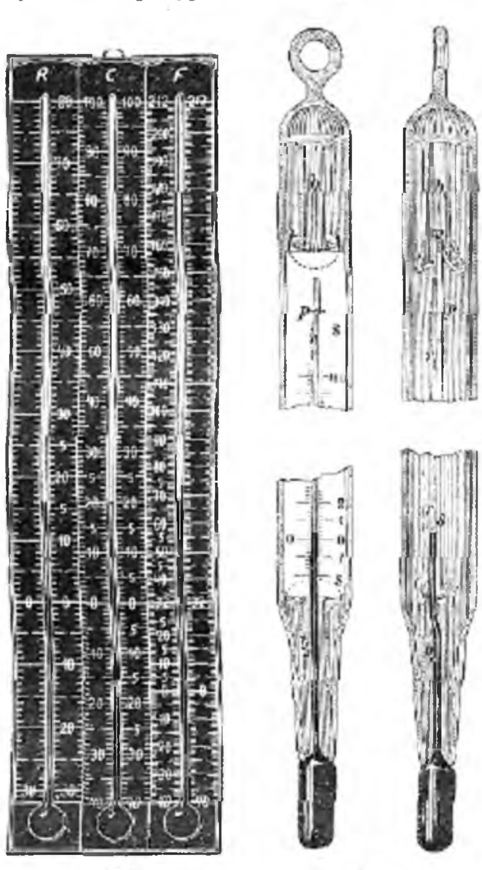
какъ воздухъ въ шарикѣ *A* будетъ сжиматься. Впослѣдствіи конструкція прибора подвергалась различнымъ измѣненіямъ. Шарообразный сосудъ *B* соединялся, напримѣръ, въ одно цѣлое съ трубкой; тогда вверху его дѣлалось небольшое отверстіе. Бехеръ придумалъ иную конструкцію прибора: онъ выгнулъ нижнюю часть трубки *A* въ формѣ сифона и наполнилъ ее ртутью; перемѣщеніе уровня опредѣлялось движеніемъ поплавка, снабженнаго указателемъ.

Общеупотребительная нынѣ форма термометра была впервые выработана Флорентинской Академіей (Accademia del Cimento). Запаянная сверху трубочка внизу оканчивается шарообразнымъ расширеніемъ, наполняемымъ обыкновенно спиртомъ. Вверху же надъ спиртомъ пустота. Эта конструкція и до настоящаго времени не подверглась существеннымъ измѣненіямъ, только впослѣдствіи спиртъ былъ замѣненъ ртутью, такъ какъ послѣдняя легче можетъ быть получена въ чистомъ видѣ и даже при большомъ повышеніи температуры расширяется довольно равномѣрно, спиртъ же не обладаетъ этими достоинствами.

Изготовленіе ртутнаго термометра. Для изготовленія ртутнаго термометра прежде всего необходимо подыскать подходящую капиллярную трубку. Внутренній діаметръ ея долженъ быть всюду одинаковъ насколько возможно (такъ какъ, строго говоря, это почти не выполнимо). Далѣе, выбранная трубка запаивается съ одного конца и на этомъ концѣ выдувается въ шарикъ, другой кончикъ трубки оттягивается въ видѣ воронки; всѣ эти операціи производятся на паяльномъ столѣ. Затѣмъ изготовленный такимъ образомъ сосудикъ прогрѣвается на газовой горѣлкѣ. Такимъ образомъ онъ осушается и воздухъ внутри трубки разрѣжается. Въ оттянутую вороночку вливаютъ ртуть; при охлажденіи трубки воздухъ сильно сожмется и внѣшнее атмосферное давленіе прогонитъ ртуть внизъ по трубкѣ. Но такимъ образомъ нельзя сразу наполнить весь шарикъ. Приходится нѣсколько разъ нагрѣвать трубку, подливая все новыя порціи ртути. Когда трубка будетъ наполнена насколько слѣдуетъ, шарикъ снова нагрѣваютъ и продолжаютъ это нагрѣваніе до тѣхъ поръ, пока ртутные пары не вытѣснятъ окончательно весь воздухъ изъ трубки; тотчасъ же открытый кончикъ запаивается. Предположимъ теперь, что на капиллярной трубкѣ нанесены дѣленія; тогда, измѣненіе высоты ртутной колонны будетъ намъ указывать измѣненіе температуры тѣла термометра и если послѣдній будетъ приведенъ въ продолжительное соприкосновеніе съ изслѣдуемымъ тѣломъ, такъ что между ними установится полное тепловое равновѣсіе, то отмѣченное дѣленіе можетъ прямо служить мѣрой температуры тѣла. Такимъ образомъ описанный приборъ позволяетъ сравнивать температры различныхъ тѣлъ и опредѣлить, которое имѣетъ высшую температуру, но для того, чтобы имѣть возможность произвести точно количественное опредѣленіе температуры тѣла или сравненіе температуръ различныхъ тѣлъ необходимо установить на шкалѣ положеніе нѣкоторыхъ постоянныхъ точекъ, соотвѣтствующихъ опредѣленнымъ температурамъ, неизмѣнно сопутствующимъ такое состояніе нѣкоторыхъ тѣлъ, которое легко можетъ быть вызвано во всякое время искусственнымъ образомъ и отвѣчаетъ извѣстному физическому процессу, совершающемуся въ этихъ тѣлахъ.

Постоянная шкала температуръ была впервые введена Ньютономъ въ началѣ позапрошлаго столѣтія; за постоянныя точки онъ принялъ температуру таянія снѣга и температуру кипѣнія воды. Но повсемѣстное распространеніе Ньютонова шкала приняла нѣсколько позднѣе; установителями трехъ различныхъ шкалъ, основанныхъ на принципѣ Ньютоновой, являются извѣстные физики: Р. А. Реомюръ (родился въ 1683 г. въ Ларошели, во Франціи, ум. въ Парижѣ, А. Цельзіусъ (род. въ 1701 и ум. въ 1744 г. въ Упсалѣ) и Г. Фаренгейтъ (род. въ 1686 г. въ Данцигѣ, ум. въ 1786 въ Голлан-

дія); какъ извѣстно общеупотребительныя термометрическія шкалы до сихъ поръ называются по именамъ этихъ ученыхъ. За постоянныя точки всѣ нашли удобнымъ принять температуры кипѣнія воды и таянія льда подъ нѣкоторымъ опредѣленнымъ (нормальнымъ) давленіемъ, которыя по тщательно произведеннымъ изслѣдованіямъ оказываются вполнѣ неизмѣнными. За нормальное принято считать на Метеорологическомъ конгрессѣ въ Римѣ въ 1879 году давленіе ртутной колонны высотой 760 мм., удѣльнаго вѣса 13,59593 при температурѣ таянія льда, подъ 45° геогр. широты и на высотѣ уровня океана.



517. Сопоставленіе трехъ термометрическихъ шкалъ.

518 и 519. Нормальные термометры Фюса.

Для опредѣленія одной изъ *постоянныхъ точекъ такъ называемой* точки таянія льда или нуля шкалы, весьма мало зависящей отъ давленія, опускаютъ термометръ въ воронкообразный сосудъ со снѣгомъ или мелко изрубленнымъ (иногда скобленымъ) льдомъ, внизу сосудъ снабженъ трубкой для стока воды, образующейся изъ растаявшаго льда (рис. 515). Термометръ долженъ быть погруженъ въ сосудъ настолько, чтобы надо льдомъ выступала только узкая полоска для *помѣтки дѣленія, кромѣ того вся* трубка и шарикъ должны быть по возможности плотно обложены кусочками измельченнаго льду или комками снѣга. Термометръ остается въ сосудѣ, пока ртуть не установится на постоянной высотѣ, что можемъ замѣтить, наблюдая повышеніе мениска издали при помощи зрительной трубы съ окулярными дѣленіями; затѣмъ какимъ-нибудь способомъ отмѣчаютъ положеніе уровня ртути: напримѣръ, дѣлаютъ *нарѣзъ алмазомъ*.

Положеніе другой постоянной точки кипѣнія воды находится въ большой зависимости отъ атмосфернаго давленія. Какъ извѣстно, на высокихъ горахъ вода кипитъ при болѣе низкой температурѣ, нежели надъ уровнемъ моря. Поэтому здѣсь необходимо точно установить, что мы подразумѣваемъ подъ нормальнымъ давленіемъ и всякій разъ наблюдать барометръ. Термометръ долженъ быть окруженъ насыщенными водяными парами, для чего по предложенію Рудберга его опускаютъ въ узкій металлическій сосудъ цилиндрической формы, на днѣ котораго налита вода, доводимая нагрѣваніемъ до бурнаго кипѣнія (рис. 516). Выдѣляющійся паръ окутываетъ со всѣхъ сторонъ трубку *термометра и, подымаясь до верхней части цилиндра, поступаетъ въ* пространство, окруженное наружнымъ металлическимъ футляромъ, откуда наконецъ вырывается во внѣшнее пространство черезъ нижнее боковое отверстіе. Въ томъ же футлярѣ дѣлается другое отверстіе, и въ него вставляется небольшая манометрическая трубка съ водою, показывающая, насколько да-

вленіе пара въ сосудѣ превышаетъ атмосферное. Шарикъ термометра долженъ находиться выше поверхности воды въ сосудѣ, такъ какъ температура паровъ зависитъ только отъ давленія на воду, температура же кипящей жидкости можетъ, какъ замѣчено, колебаться въ зависимости отъ примѣси постороннихъ веществъ. Какъ и раньше, отмѣтить дѣленіе слѣдуетъ только тогда, когда убѣдились, что температура паровъ остается постоянной (наблюдая попрежнему высоту мениска при помощи трубы). Отмѣченное при этомъ дѣленіе будетъ соотвѣтствовать давленію, указываемому въ этотъ моментъ барометромъ. Если это давленіе отклоняется отъ величины нормальнаго, то отмѣченную высоту слѣдуетъ исправить, пользуясь данными изъ таблицъ Реньо для упругости пара, насыщающаго пространство при различныхъ температурахъ, которыя позволяютъ установить связь между температурой кипѣнія жидкости и производимымъ на нее давленіемъ. Разстояніе между двумя постоянными точками въ сантимальной шкалѣ Цельзія дѣлится на 100 равныхъ частей, Реомюръ дѣлитъ его на 80 частей, а Фаренгейтъ на 180. Если добавимъ еще къ этому, что точка таянія льда у Цельзія и Реомюра обозначена нулемъ, у Фаренгейта 32° и слѣдовательно точки кипѣнія обозначаются соотвѣтственно градусами 100°, 80° и 212°, а дѣленія ниже нуля нанесены на томъ же разстояніи другъ отъ друга, какъ верхнія, то мы будемъ имѣть всѣ данныя для того, чтобы перевести градусы одной шкалы въ градусы другой. Величины дѣленій, соотвѣтствующихъ одному градусу шкалъ Реомюра (°R), Цельзія (°C) и Фаренгейта (°F), относятся какъ 4:5:9. Градусамъ, соотвѣтствующимъ температурѣ выше нуля, приписывается знакъ +, ниже —.

Въ шкалѣ Фаренгейта, которая почти исключительно употребляется только въ Англіи (гдѣ этотъ ученый жилъ долгое время) и въ Сѣверной Америкѣ, нуль лежитъ ниже точки замерзанія. Нулевымъ дѣленіемъ Фаренгейтъ обозначилъ температуру особой составленной имъ охладительной смѣси; эту температуру онъ считалъ низшей изъ достижимыхъ, она соотвѣтствовала въ его шкалѣ 32-му дѣленію ниже нуля.

Чтобы перевести градусы Фаренгейта въ градусы Реомюра или Цельзія, слѣдуетъ прежде всего уменьшить число градусовъ на 32 и затѣмъ остатокъ умножить соотвѣтственно на дроби $^4/_9$ или $^5/_9$. Такой высокой, какъ покажется на первый взглядъ, температурѣ 104°F соотвѣтствуетъ всего 32°R или 40°C. Дѣйствительно, $104-32=72$; $72\times{}^4/_9=32$, а $72\times{}^5/_9=40$. Рис. 517 служитъ для нагляднаго сравненія трехъ термометрическихъ шкалъ.

Въ дальнѣйшемъ конструкція термометра можетъ быть такъ или иначе измѣнена, смотря по спеціальной цѣли назначенія. Чаще шкала бываетъ нанесена не на самой термометрической трубкѣ, а на особой бумажкѣ или на пластинкѣ молочнаго стекла. Капиллярная трубка вмѣстѣ со шкалой заключается еще въ другую стеклянную оправу, которая также сверху запаивается, если нужно. Раньше шкала прикрѣплялась очень просто, и тамъ, гдѣ не требуется большой точности, до сихъ поръ въ ходу прежній способъ. Онъ состоитъ въ слѣдующемъ: верхній край шкалы вставляется въ пробку, нижній же скрѣпляется съ капиллярной трубкой при помощи гуммилака, но такой способъ можетъ явиться источникомъ погрѣшности въ показаніи термометра, такъ какъ при высокой температурѣ гуммилакъ размягчается и шкала нѣсколько съѣзжаетъ. Въ послѣднее время механику Р. Фюсу удалось найти довольно остроумный механическій способъ прикрѣпленія шкалы, не допускающій вовсе ея смѣщенія относительно капиллярной трубки. Изъ рисунковъ 518 и 519, представляющихъ лицевой видъ и профиль нормальнаго термометра Фюса, нетрудно объяснить себѣ, въ чемъ состоитъ эта конструкція. Шкала *ss* съ помощью платиновой скобки *p* скрѣплена съ капиллярной трубкой *rr*. Нижній конецъ шкалы плотно входитъ въ стеклянное

воронкообразное углубленіе; въ верху она прикрѣпляется точно такимъ же *образомъ съ помощью другой стеклянной вороночки b, въ которую вставлена* кромѣ того платиновая пружинка *m*.

Безспорно ртутный термометръ является самымъ распространеннымъ приборомъ для измѣренія температуры благодаря чувствительности и точности показаній, а также удобства пользованія имъ на практикѣ. Но, если мы вникнемъ глубже въ идею этого термометра, то замѣтимъ, что для точныхъ научныхъ работъ наблюденіе показаній нужно вести съ соблюденіемъ множества мелкихъ предосторожностей и, сдѣлавъ уже отсчетъ, для полученія вѣрнаго результата, приходится ввести нѣсколько поправокъ, такъ что только съ перваго взгляда онъ представляется простымъ и удобнымъ приборомъ. Чтобы смѣрить температуру тѣла, шарикъ термометра слѣдуетъ помѣстить, если возможно, внутрь тѣла и продержать его въ соприкосновеніи довольно продолжительное время, чтобы уровень ртути успѣлъ принять неизмѣнное положеніе. Дѣйствіе постороннихъ источниковъ, измѣняющихъ тепловое состояніе прибора, должно быть по возможности устранено; такъ, самъ наблюдатель долженъ помѣщаться вдали, чтобы не вызвать нагрѣванія термометра. Для наблюденія температуры воздуха термометръ помѣщаютъ въ тѣни, въ мѣстѣ, защищенномъ отъ вліянія вѣтра и другихъ воздушныхъ теченій.

Калибрированіе. Если бы капиллярная термометрическая трубка имѣла по всей длинѣ одинаковое поперечное сѣченіе, и дѣленія шкалы были бы нанесены строго въ одинаковомъ разстояніи одно отъ другого, то одинаковому числу дѣленій соотвѣтствовали бы совершенно равные по объему столбики капиллярной трубки и слѣдовательно одинаковыя разности температуръ. Но діаметръ капиллярной трубки никогда не бываетъ повсюду одинаковъ и нанесеніе дѣленій всегда, конечно, сопровождается погрѣшностями. Чтобы отсчитать дѣйствительное число столбиковъ одинаковаго объема, требуется, какъ говорятъ, калибрировать трубку и указать поправку при отсчетѣ дѣленій шкалы.

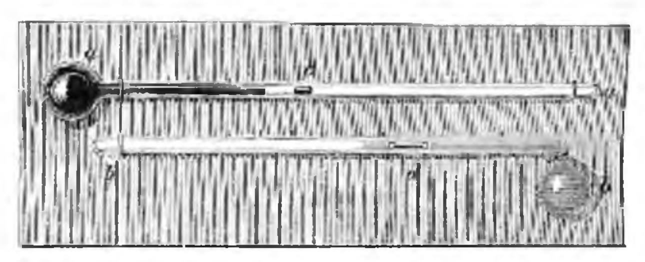
Для калибрированія трубки, т.-е. для раздѣленія ея на части равнаго объема, употребляется между прочимъ способъ, предложенный Гей-Люссакомъ. Отъ ртутной колонны въ капиллярѣ отрываютъ столбикъ неопредѣленной длины, для чего термометръ поворачиваютъ шарикомъ вверхъ и слегка ударяютъ по нему, или же, дождавшись, пока ртуть опустится до верхняго (раньше) края трубки, быстро перекидываютъ термометръ и приводятъ его въ первоначальное положеніе, тогда микроскопическій пузырекъ воздуха, находившійся раньше надъ ртутью въ шарикѣ термометра (такъ какъ вполнѣ воздухъ удаленъ быть не можетъ), разорветъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ ртутную колонну. Отдѣленный такимъ образомъ столбикъ можно, конечно, по желанію удлинить или укоротить. Отмѣтивъ положеніе краевъ этого столбика, начинаютъ его двигать вдоль трубки, такъ чтобы нижній край дошелъ до дѣленія, отмѣчающаго первоначальное положеніе верхняго края, отмѣчаютъ затѣмъ второе его положеніе, передвигаютъ столбикъ выше, такимъ же образомъ отмѣчая третье положеніе и т. д., пока вся трубка не будетъ раздѣлена на части равнаго объема.

Такой повѣркой термометра можно опредѣлить, сколькимъ равнообъемнымъ частямъ соотвѣтствуетъ любое число дѣленій шкалы. Если же желательно кромѣ того изслѣдовать по всей длинѣ діаметръ канала трубки, въ чемъ является необходимость при нѣкоторыхъ особенно точныхъ научныхъ измѣреніяхъ, то нужно еще опредѣлить, насколько правильно нанесены дѣленія шкалы, т.-е. находятся ли они въ одномъ и томъ же разстояніи другъ отъ друга. Нѣкоторые фабриканты производятъ предварительно калибрированіе термометра и на шкалѣ его прямо уже отдѣляютъ части равнаго объема, такъ что этимъ исправляется ошибка, происходящая отъ неправильности ка-

нала. Наиболѣе точные методы калибрированія указаны Гей-Люссакомъ, Хельстремомъ, Бесселемъ, Нейманомъ и другими.

Поправка на высоту выступающаго столбика ртути. Другимъ источникомъ ошибокъ является то обстоятельство, что въ большинствѣ случаевъ не всѣ части термометра пріобрѣтаютъ температуру изслѣдуемаго тѣла. Это можно признать справедливымъ только развѣ по отношенію къ шарику и небольшой части ртутной колонны, въ особенности если изслѣдуется тепловое состояніе вещества, которое имѣется лишь въ незначительномъ количествѣ. Во всѣхъ такихъ случаяхъ нужно дѣлать поправку на выступающій наружу столбикъ ртути. Поправка эта пропорціональна длинѣ столбика, разности температуръ шарика термометра и столбика и видимому коэффиціенту расширенія ртути въ стеклянномъ сосудѣ.

Вліяніе теплового послѣдѣйствія. Какъ показываетъ опытъ, термометрическій сосудъ, если онъ сдѣланъ изъ тюрингенскаго стекла (употребляемаго прежде состава), уже послѣ изготовленія долгое время претерпѣваетъ измѣненія, выражающіяся въ сжатіи сосуда, вслѣдствіе чего точка таянія льда съ теченіемъ времени повышается, и показанія термометра становятся невѣрными. Такъ что лучше наносить постоянныя точки много времени спустя по изготовленіи термометра и кромѣ того отъ времени до времени контролировать, насколько измѣняется положеніе этихъ точекъ.



526. Максимальныя и минимальныя термометры.

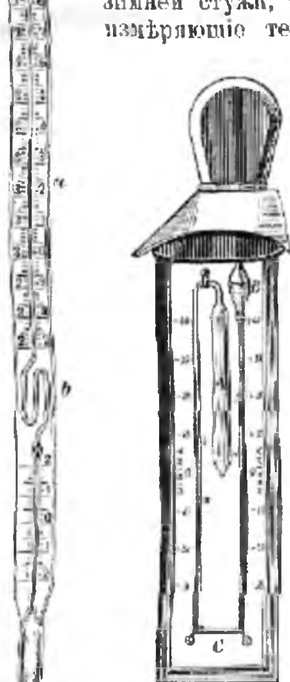
Кромѣ такихъ измѣненій объема шарика, сказывающихся лишь по прошествіи долгаго времени, существуютъ еще временныя измѣненія, происходящія вслѣдствіе большого паденія или повышенія температуры термометра; эти послѣднія также влекутъ за собой смѣщеніе постоянныхъ точекъ. Если послѣ опредѣленія нулевой точки подвергнуть термометръ сильному нагрѣванію, и затѣмъ снова повѣрить положеніе этой точки, то мы замѣтимъ пониженіе ея, объясняемое тѣмъ, что расширившійся сосудъ термометра не успѣлъ принять первоначальный объемъ. Обнаруживаемое при этомъ смѣщеніе неодинаково для различнаго сорта стеколъ и вообще тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе нагрѣваніе. Въ виду этого за нижнюю постоянную точку принимаютъ точку замерзанія, отмѣчаемую непосредственно вслѣдъ за опредѣленіемъ точки кипѣнія, т.-е. нѣсколько смѣщенную точку. Лишь за послѣднее время удалось подмѣтить, что величина упомянутаго смѣщенія находится въ большой зависимости отъ химическаго состава стекла. Если въ составъ даннаго сорта входятъ и натръ и кали почти въ одинаковой пропорціи, то смѣщеніе довольно значительно; наоборотъ, оно чрезвычайно мало для сортовъ стекла, содержащихъ только одно изъ упомянутыхъ веществъ. Недавно братьями Шоттъ въ Іенѣ найденъ составъ, извѣстный подъ названіемъ іенскаго стекла. Термометры, изготовляемые изъ этого стекла, тотчасъ вслѣдъ за нагрѣваніемъ до ста градусовъ почти не обнаруживаютъ замѣтнаго измѣненія положенія нуля. Такъ что теперь для изготовленія болѣе или менѣе точныхъ термометровъ исключительно употребляютъ іенское стекло.

Всѣмъ перечисленнымъ здѣсь манипуляціямъ: калибрированію, исправленію дѣленій шкалы и т. п. подвергаютъ только особенно точные такъ называемые нормальные термометры. Въ термометрахъ низшаго достоинства опредѣляютъ только положеніе постоянныхъ точекъ, другія же дѣленія

наносятъ по сравненію съ нормальнымъ, отмѣчая положеніе уровня ртути черезъ каждые пять градусовъ. Сравненіе термометровъ съ нормальными, повѣрка ихъ и исправленіе шкалы производится спеціальными техническими учрежденіями.

Чѣмъ тщательнѣе изготовленіе термометра, тѣмъ онъ точнѣе. Поэтому цѣна термометровъ разнится отъ 20, 30 копѣекъ до 30 рублей. Хорошій нормальный термометръ съ дѣленіями отъ 5° до 105°, нанесенными черезъ десятыя доли градуса, стоитъ въ Берлинѣ 40—50 марокъ (18—22 руб.). Лучшія нѣмецкія фирмы, изготовляющія хорошіе термометры, R. Fuess въ Стеглицѣ, вблизи Берлина, и Гейслеръ въ Боннѣ.

Дѣленія термометрической шкалы наносятся на большемъ или меньшемъ протяженіи въ зависимости отъ того, для какой цѣли предназначенъ термометръ. Обыкновенные термометры, употребляемые въ домашнемъ быту, должны указывать температуры выше нуля до точки кипѣнія и ниже до температуры самой жестокой зимней стужи, тогда какъ, напримѣръ, медицинскіе термометры, измѣряющіе температуры человѣческаго тѣла, имѣютъ шкалу съ дѣленіями всего на какіе-нибудь 5—6 градусовъ въ ту и другую сторону относительно градуса нормальной температуры (около 37° С.).



521. Медицинскій максимальный термометръ.

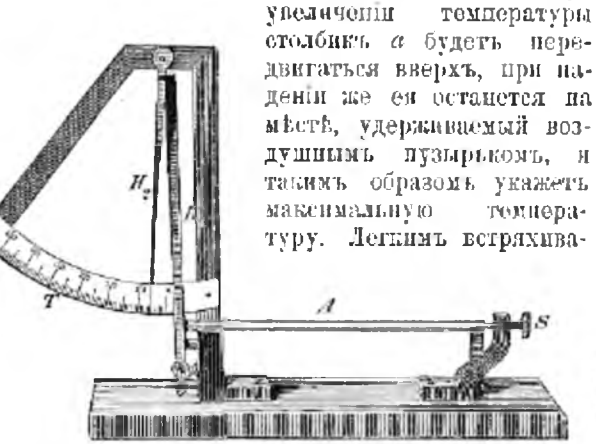
522. Максимальный и минимальный термометръ Сикса.

Для того, чтобы имѣть контроль относительно показаній медицинскаго термометра, вполнѣ цѣлесообразно и здѣсь отмѣчать положеніе *нулевой точки, но, чтобы съ другой стороны не* увеличивать слишкомъ размѣровъ шкалы, такъ какъ здѣсь дѣленія отмѣчаются черезъ каждую 0,1° С., часть трубочки можно сдѣлать расширенной, такъ чтобы расширеніе это соотвѣтствовало, положимъ, увеличенію объема налитой въ термометръ ртути при увеличеніи температуры отъ 2—30° С. Такъ какъ точкѣ замерзанія ртути соотвѣтствуетъ —39,5° С., а при +357° С. она уже закипаетъ, то, вообще говоря, обыкновеннымъ ртутнымъ термометромъ нельзя измѣрять температуръ, выходящихъ изъ границы этихъ предѣловъ. Для измѣренія температуръ до 500° *нѣмецкимъ Физико-техническимъ бюро было* предложено заполнять внутренность капиллярной термометрической трубки сгущеннымъ азотомъ, чтобы задержать дробленіе ртутной колонны при высокихъ температурахъ, что всегда наблюдается, если не принять этой мѣры предосторожности. Температуру отъ —39° до —100° С. можно измѣрять съ помощью спиртового термометра.

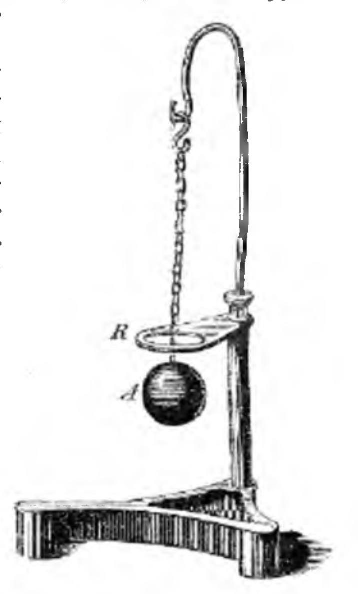
Минимальные и максимальные термометры. Для нѣкоторыхъ цѣлей важно бываетъ знать высшій и низшій предѣлы измѣненія температуры за извѣстный промежутокъ времени. Приборы, употребляемые для названной цѣли, получили соотвѣтственно названія максимальнаго и минимальнаго термометровъ. Самымъ распространеннымъ изъ нихъ является термометръ Рутерфорда *(рис. 520). На дощечкѣ рядомъ другъ съ другомъ* помѣщены горизонтально два термометрическихъ сосуда: одинъ *aa*, предназначенный для указанія наивысшей температуры, наполненъ ртутью, другой *bb*, дающій низшій предѣлъ, заполняется спиртомъ. Въ трубочкѣ перваго вло-

жень стальной штифтикъ c, проталкиваемый впередъ все дальше и дальше, по мѣрѣ увеличенія ртутной колонны; при обратномъ движеніи жидкости штифтикъ назадъ уже не пойдетъ, и такимъ образомъ онъ будетъ всякій разъ отмѣчать наибольшую длину ртутной колонны, т.-е. наивысшую температуру. Въ спиртовой термометръ вкладывается легкая стеклянная палочка, съ двумя утолщеніями по краямъ: при сжатіи жидкости она вслѣдствіе прилипанія увлекается вслѣдъ за спиртомъ, а когда при повышеніи температуры спиртъ снова станетъ расширяться, онъ будетъ протекать по трубкѣ мимо стекляннаго столбика; при такомъ устройствѣ передній кончикъ столбика указываетъ низшій предѣлъ температуры. Наклоняя нѣсколько дощечку и дѣйствуя затѣмъ магнитомъ, мы доведемъ стеклянный и желѣзный столбикъ до соприкосновенія съ поверхностями жидкостей въ термометрической трубкѣ и такимъ образомъ подготовимъ приборъ для новаго наблюденія.

На рис. 521 изображенъ максимальный медицинскій термометръ. Здѣсь часть ртутной колонны a отдѣлена воздушнымъ пузырькомъ b. При увеличеніи температуры столбикъ a будетъ передвигаться вверхъ, при паденіи же ея останется на мѣстѣ, удерживаемый воздушнымъ пузырькомъ, и такимъ образомъ укажетъ максимальную температуру. Легкимъ встряхиваніемъ можно его заставить понизиться до прежняго уровня. Рисунокъ 522 представляетъ весьма употребительный за послѣднее время термометръ Сикса, указывающій сразу минимумъ и максимумъ температуры за данный промежутокъ времени. Главную часть прибора составляетъ изогнутая U-образно стеклянная трубка ACB съ большимъ стекляннымъ резервуаромъ A и съ меньшимъ баллономъ B. Въ трубкѣ термометра отъ уровня m до m' налита ртуть; резервуаръ A надъ уровнемъ m и часть баллона B надъ уровнемъ m' заполнены растворомъ спирта или креозота въ водѣ. Надъ уровнями ртути съ той и другой стороны находятся стальные штифты i и i'. При повышеніи температуры жидкость въ резервуарѣ A расширяется, вслѣдствіе чего ртутная колонна $m\,C\,m'$ и указатель i' перемѣщаются въ направленіи къ баллону B, при пониженіи температуры колонна будетъ двигаться въ обратномъ направленіи и низшій предѣлъ температуры будетъ отмѣчаться указателемъ i, который теперь станетъ подниматься. Чтобы указатели i и i' могли держаться на любомъ мѣстѣ внутри трубки, они снабжены особыми пружинками.



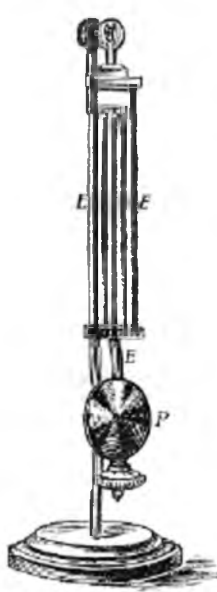

523. Рычажный пирометръ.



524. Расширеніе при нагрѣваніи.

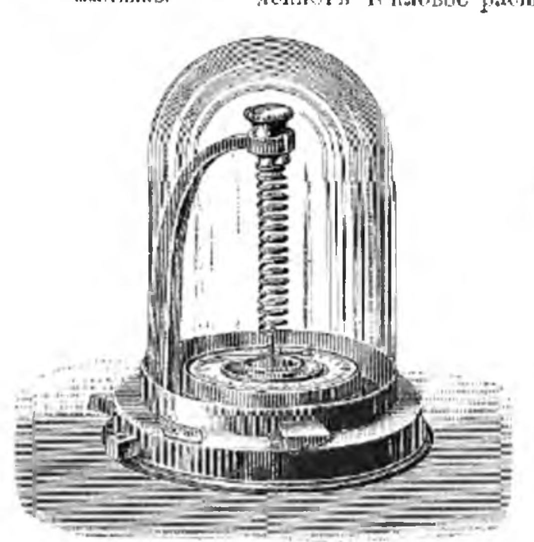
Расширеніе тѣлъ при нагрѣваніи. Вообще говоря, всѣ тѣла при нагрѣваніи расширяются, а при охлажденіи сжимаются. Это можетъ быть для твердыхъ тѣлъ обнаружено слѣдующимъ опытомъ. Желѣзный шарикъ

A (рис. 523), который, сохраняя обыкновенную комнатную температуру, свободно проходитъ черезъ металлическое кольцо R, застреваетъ, если его нѣсколько нагрѣть, держа надъ пламенемъ бунзеновской горѣлки, и проходитъ насквозь только тогда, когда достаточно охладится. Всякому, вѣроятно, удавалось наблюдать, что желѣзнодорожные рельсы не скрѣпляются плотно одинъ съ другимъ, а всегда между ними оставляется промежутокъ для того, чтобы дать имъ возможность свободно расширяться отъ нагрѣванія. Расширенію тѣлъ отъ дѣйствія теплоты нельзя воспрепятствовать никакой силой; напротивъ самую эту силу расширенія можно утилизировать. Въ техникѣ пользуются силой, являющейся при сжатіи охлажденнаго тѣла для выпрямленія покрившихся стѣнъ ветхаго зданія. Для этого поперекъ стѣнъ прокладываются нѣсколько желѣзныхъ болтовъ параллельно другъ другу; болты эти нагрѣваются до высокой температуры и ввинчиваются плотно съ того и другого конца; при слѣдующемъ затѣмъ охлажденіи они стягиваются съ такой силой, что могутъ привести стѣну въ нормальное состояніе, если опытъ повторить нѣсколько разъ подрядъ.



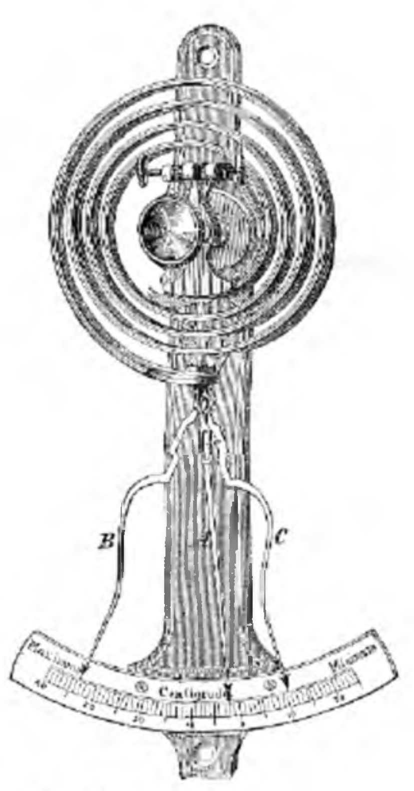
525. Уравнительный маятникъ.

Расширяемость тѣлъ отъ дѣйствія теплоты находится въ зависимости отъ природы вещества даннаго тѣла; иначе говоря, различныя тѣла неодинаково увеличиваются въ объемѣ при одномъ и томъ же повышеніи температуры. Механическая теорія тепла, разсматривающая теплоту, какъ особый родъ движенія молекулъ тѣла, объясняетъ тепловое расширеніе увеличеніемъ скорости этого движенія, неодинаковымъ для различныхъ веществъ, представляющихъ различное сочетаніе молекулъ или атомовъ. Увеличеніе единицы длины (т.-е. 1 м.) даннаго тѣла при повышеніи температуры его на 1° C. въ опредѣленномъ промежуткѣ измѣненія температуръ называютъ линейнымъ коэффиціентомъ расширенія тѣла для данной разности температуръ.


526. Металлическій термометръ Брегета.

Положимъ l_t длина нѣкотораго стержня при температурѣ $t°$ C, а l_0 длина его при 0° C., далѣе α — коэффиціентъ расширенія вещества, изъ котораго сдѣланъ стержень, тогда между названными величинами должна существовать зависимость, выражаемая равенствами: $l_t = l_0\ (1 + \alpha t)$ и $l_0 = l_t\ (1 - \alpha t)$. При помощи прибора, представленнаго на рисункѣ 523, такъ называемаго рычажнаго пирометра, можно опредѣлять и сравнивать линейные коэффиціенты расширенія различныхъ веществъ. Стержень A, коэффиціентъ расширенія котораго желаютъ опредѣлить, упирается однимъ концомъ въ оконечность винта S, другимъ же надавливаетъ на рычагъ $П_1$ вблизи точки опоры O послѣдняго, такъ что верхній конецъ рычага при незначительномъ увеличеніи длины

стержня, описываетъ уже довольно большую дугу; рычагъ H_1 сообщается съ другимъ чувствительнымъ рычагомъ H_2, конецъ котораго совершаетъ еще большее передвиженіе и отмѣчаетъ величину удлиненія стержня на эмпирически нанесенной шкалѣ. Стержень A предварительно опускаютъ въ ванну съ толченымъ льдомъ, а затѣмъ погружаютъ въ пары кипящей воды, чтобы изслѣдовать расширеніе его при различныхъ температурахъ. Болѣе точные приборы, служащіе для опредѣленія линейныхъ коэффиціентовъ расширенія носятъ общее названіе компараторовъ. Коэффиціентъ расширенія вообще растетъ съ повышеніемъ температуры, но на практикѣ его принимаютъ постояннымъ для данной разности температуръ. Средняя величина его между 0° и 100° для желѣза оказывается 0,000013, для стекла отъ 0,000008 до 0,000009, для платины тоже 0,000009, для латуни отъ 0,000018 до 0,000019, для цинка 0,000029, для мѣди 0,000017 и для ртути 0,000181. Такъ что ртутная колонна длиною въ 1 m при повышеніи температуры на 1° C. увеличивается на 0,181 мм. Для физиковъ и химиковъ весьма важно знать, что платина и стекло расширяются почти одинаково, такъ какъ благодаря этому является возможнымъ впаивать платиновую проволоку въ стекло, не боясь трещинъ при повышеніи или пониженіи температуры.



527. Максимальный и минимальный металлическій термометръ.

Уравнительный маятникъ. Уравнительныя полосы. Металлическіе термометры. На неодинаковой расширяемости различныхъ металловъ основывается устройство уравнительнаго маятника (рис. 525). Онъ состоитъ изъ трехъ желѣзныхъ и двухъ цинковыхъ прутьевъ. Желѣзные прутья *EEE*, расширяясь книзу, увеличиваютъ длину маятника, а вмѣстѣ съ тѣмъ и продолжительность его колебаній, цинковые же прутья *ZZ* наоборотъ вслѣдствіе расширенія приподымаютъ чечевицу маятника и тѣмъ дѣлаютъ колебанія его быстрѣе. Если длины тѣхъ и другихъ стержней въ совокупности будутъ находиться въ обратномъ отношеніи съ ихъ коэффиціентами расширенія, то колебанія температуры останутся безъ вліянія на ходъ маятника.

Уравнительными полосами называются двѣ спаянныя или скрѣпленныя между собою металлическія ленты различнаго вещества — одна, положимъ, мѣдная, другая стальная. При нѣкоторой опредѣленной температурѣ t_0 соединенныя такимъ образомъ ленты образуютъ совершенно прямую полоску, но при повышеніи температуры эта полоска сгибается въ дугу, причемъ со стороны выпуклости всегда оказывается мѣдная лента, такъ какъ коэффиціентъ расширенія мѣди больше; при пониженіи температуры обратно, — мѣдная лента представляетъ вогнутый ободъ. Такія уравнительныя полосы употребляются между прочимъ для того, чтобы сдѣлать ходъ карманныхъ часовъ независимымъ отъ колебанія температуры. Такая же уравнительная полоска изъ платины и серебра, закрученная въ формѣ спирали, употреблена въ металлическомъ термометрѣ Брегета (рис. 526). При колебаніи

температуры эта спираль то скручивается, то раскручивается, и эти движенія непосредственно и при помощи передаточнаго механизма съ чувствительнымъ рычагомъ могутъ быть сообщены указателю, движущемуся по шкалѣ, на которой нанесены соотвѣтствующіе градусы температуры.

Рисунокъ 527 представляетъ металлическій термометръ, отмѣчающій высшій и низшій предѣлъ измѣненія температуры. Стрѣлки B и C не находятся въ сообщеніи съ уравнительной спиралью, а только едва касаются ея указателя. При перемѣщеніи послѣдняго онѣ обѣ передвигаются, одна въ одну, другая въ другую сторону, но при обратномъ движеніи указателя онѣ не идутъ вслѣдъ за нимъ, а удерживаются треніемъ на томъ же мѣстѣ, такъ что одна укажетъ намъ максимумъ температуры, другая минимумъ. Отмѣтивъ показанія стрѣлокъ, ихъ приводятъ снова въ соприкосновеніе съ указателемъ. Надо замѣтить, что *металлическій термометръ не можетъ считаться точнымъ научнымъ приборомъ* и вотъ почему: законы расширенія металловъ нелегко поддаются точному изслѣдованію, да кромѣ того показанія такихъ термометровъ оказываются неправильными вслѣдствіе измѣненія съ теченіемъ времени *упругости металлической пружинки, на что также вліяютъ измѣненія*, происходящія въ окружающей атмосферѣ, и различныя тепловыя теченія.

Явленіе расширенія твердыхъ тѣлъ отъ нагрѣванія послужило къ устройству пирометровъ, т.-е. термометровъ, предназначенныхъ для измѣренія высокихъ температуръ, какова, напримѣръ, температура горна, гдѣ обжигается фарфоръ.

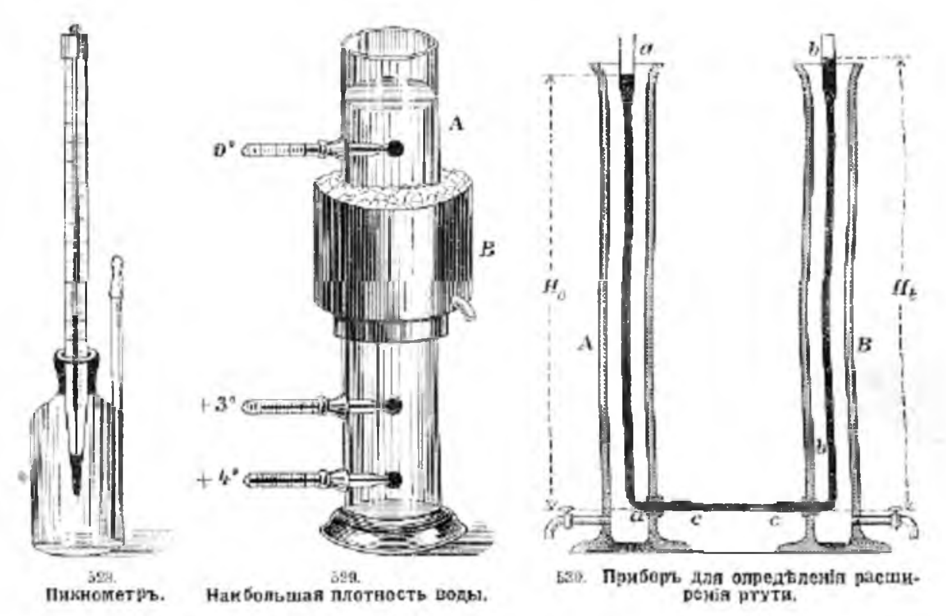
Чтобы изслѣдовать законы измѣненія объема изотропнаго, т. е. представляющаго по всѣмъ направленіямъ совершенно одинаковое строеніе, тѣла въ зависимости отъ измѣненія температуры, нужно ввести величину, называемую объемнымъ или кубическимъ коэффиціентомъ расширенія. Величина эта показываетъ, насколько увеличивается единица объема даннаго тѣла при повышеніи его температуры на 1° C. Она приблизительно равна утроенному линейному коэффиціенту расширенія.

Мы замѣтили, что различныя тѣла неодинаково расширяются отъ дѣйствія теплоты, но бываетъ такъ, что *одно и то же тѣло обладаетъ различной* расширяемостью въ разныхъ направленіяхъ, т.-е. скорость движенія молекулъ нѣкоторыхъ тѣлъ увеличивается не въ одинаковой мѣрѣ по различнымъ направленіямъ при измѣненіи ихъ теплового состоянія. Такія тѣла, *обладающія нѣкоторыми особенностями въ строеніи* по извѣстнымъ направленіямъ, называются анизотропными; къ нимъ относятся, напримѣръ, кристаллы. Какъ показалъ знаменитый кристаллографъ Митчерлихъ, кристаллъ известковаго шпата по направленію кристаллографической оси расширяется сильнѣе, чѣмъ во всякомъ другомъ направленіи. Подобное же замѣчено относительно нѣкоторыхъ органическихъ тканей. Интересное явленіе представляетъ каучукъ. Каучуковая лента или трубка, какъ впервые было показано на опытѣ Джоулемъ, укорачивается при нагрѣваніи.

Расширеніе жидкостей. Такъ же, какъ твердыя тѣла, жидкости и газы отъ теплоты расширяются и съ возрастаніемъ температуры объемный коэффиціентъ расширенія увеличивается. Опредѣлить коэффиціентъ расширенія жидкости можно, наблюдая кажущееся расширеніе ея въ сосудѣ, коэффиціентъ расширенія котораго уже извѣстенъ заранѣе. Для этого берется пикнометръ (рис. 528), т.-е. стеклянный сосудъ съ узенькимъ горлышкомъ, на которомъ нанесены дѣленія; такой сосудъ употребляется обыкновенно для *опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей. Путемъ взвѣшиванія опредѣляютъ* массу вылившейся при расширеніи жидкости, откуда можно найти увеличеніе ея объема при опредѣленномъ измѣненіи температуры.

Коэффиціентъ расширенія жидкости можно опредѣлить также непосред-

ственно, не принимая во вниманіе расширенія сосуда. Методъ основанъ на законѣ сообщающихся сосудовъ. Впервые онъ былъ употребленъ Дюлонгомъ к Пти, а впослѣдствіи Реньо для опредѣленія абсолютнаго коэффиціента расширенія ртути. Два вертикальныя колѣна (см. рис. 530) *aa* и *bb*, соединяемыя трубочкой *cc* въ одну U-образную трубку, погружены въ стеклянные сосуды *A* и *B*. Одинъ изъ нихъ наполняется толченымъ льдомъ, другой — водой, нагрѣваемой до той или иной температуры t^0. Наблюдая разность высотъ жидкости въ обоихъ колѣнахъ $H_t - H_0$, являющуюся вслѣдствіе неодинаковости температуры, легко найти коэффиціентъ расширенія жидкости. Величина его $\alpha = \frac{H_t - H_0}{H^0{}_t}$. Для опредѣленія высотъ H_t и H_0 Дюлонгъ и Пти пользовались спеціально построеннымъ для этого приборомъ — катетометромъ, устройство котораго описано ранѣе (стр. 242).



528. Пикнометръ. 529. Наибольшая плотность воды. 530. Приборъ для опредѣленія расширенія ртути.

Расширеніе воды идетъ неравномѣрно; при температурѣ выше 15° C она увеличивается въ объемѣ больше, нежели ртуть. Вотъ для сравненія коэффиціенты расширенія нѣкоторыхъ жидкостей.

Ртуть	0,00018
Вода при 15° C . .	0,00018
„ „ 30° C . .	0,00032
Алкоголь при 15° C	0,00107
Эѳиръ при 15° C .	0,00158

Какъ видно отсюда, алкоголь расширяется сильнѣе, нежели вода; вообще, болѣе летучія жидкости обладаютъ бо́льшимъ коэффиціентомъ расширенія.

Наблюденіе надъ расширеніемъ большинства жидкостей несомнѣнно приводитъ къ тому заключенію, что съ увеличеніемъ температуры увеличивается и объемъ жидкости, тогда какъ это не всегда справедливо. Вода, напримѣръ, представляетъ интересную аномалію. Наполнимъ стеклянную колбу съ узкимъ горлышкомъ водою комнатной температуры; если мы затѣмъ погрузимъ ее въ ванну постоянной температуры 0°, то замѣтимъ сначала постепенное пониженіе уровня воды въ колбѣ, вслѣдствіе сжатія ея (воды). До температуры + 4° C колонка воды все будетъ укорачиваться, затѣмъ нѣкоторое

время не будетъ замѣтнаго измѣненія уровня, а дальше при измѣненіи температуры отъ + 4° до 0° С, уровень ея снова, такъ же постепенно, станетъ повышаться. Изъ этого выводимъ заключеніе, что при + 4° С вода обладаетъ наибольшей плотностью.

Если мы окружимъ сосудъ *A* (рис. 529) металлическимъ поясомъ, наполненнымъ толченымъ льдомъ, и въ различныхъ частяхъ его вставимъ три термометра, то замѣтимъ, что низшую температуру (0°) скорѣе всего пріобрѣтаютъ верхніе слои воды, въ нижнемъ же термометрѣ ртуть устанавливается на дѣленіи 4° С. Это происходитъ отъ того, что при охлажденіи въ этихъ предѣлахъ удѣльный вѣсъ воды уменьшается и болѣе легкіе элементы всплываютъ наверхъ, а наиболѣе плотные погружаются до дна. При замерзаніи воды происходитъ мгновенное увеличеніе въ объемѣ, занимаемомъ веществомъ; сила расширенія столь велика, что даже самыя солидныя желѣзныя трубы не выдерживаютъ и даютъ трещину; городскіе водопроводы, *безъ всякаго* съ нашей стороны желанія, весьма нерѣдко доставляютъ случай наблюдать описываемое явленіе. Ледъ плаваетъ *на водѣ, такъ какъ взятый въ томъ же вѣсовомъ* количествѣ онъ имѣетъ значительно большій объемъ, нежели вода (приблизительно на 1/9). *Этимъ же объясняется* то явленіе — весьма благодѣтельный промыселъ природы — что вода начинаетъ замерзать съ поверхности, между тѣмъ какъ на нѣкоторой глубинѣ температура не понижается дальше + 4° С. Въ своемъ классическомъ сочиненіи *„Теплота, какъ родъ движенія“* Тиндаль *цитируетъ слова Румфорда, выражающія* удивленіе передъ великимъ явленіемъ природы: „Представьте себѣ море зимой, въ ясную погоду. Допустимъ, что вода, замерзая, сжимается и становится тяжелѣе. Обледенѣлыя частицы опускаются книзу. Ихъ мѣсто заступаютъ другія, еще не сплотившіяся. Черезъ нѣсколько времени замерзаютъ и эти, также идутъ ко дну, на смѣну имъ являются опять новыя и *образуется постоянный круговоротъ, заставляющій воду подниматься вверхъ* изъ глубины, уплотняться на поверхности и опять погружаться до дна. Вотъ, положимъ, уже образовался тоненькій пластъ льду, онъ также станетъ опускаться внизъ, за нимъ слѣдующій и т. д., пока все море не промерзнетъ до дна. Слѣдствіе этого — смерть для всѣхъ подводныхъ обитателей. Но какъ разъ въ критическій моментъ природа дѣлаетъ отступленіе и заставляетъ воду, *обращенную въ ледъ, подобно маслу, всплывать* на поверхность. Ледяной покровъ все же является, но онъ легче воды



531. Ж. Л. Гей-Люссакъ.

и служитъ для того, чтобы сохранить растительный и животный міръ моря отъ погибели".

Расширеніе газовъ. Расширеніе воздуха отъ теплоты можно показать на слѣдующемъ приборѣ. Отъ стеклянной колбы отходитъ стеклянная же узкая трубочка, изогнутая въ видѣ буквы S; нижній конецъ ея подводится подъ отверстіе болѣе широкой запаянной сверху трубки заполненной водой и погруженной въ сосудъ также налитый водой. Атмосферное давленіе не позволяетъ жидкости выливаться изъ трубки, но если мы станемъ нагрѣвать воздухъ въ колбѣ, то, расширяясь, онъ будетъ пузырьками проталкиваться черезъ воду и своей упругостью понижать уровень водяной колонны. Гей-Люссакъ сдѣлалъ замѣчательное открытіе, что всѣ такъ называемые постоянные газы почти одинаково увеличиваются въ объемѣ, при одинаковомъ повышеніи температуры, если при 0^0 они всѣ занимали одинъ и тотъ же объемъ и давленіе на нихъ все время оставалось постояннымъ. При повышеніи температуры на 1^0 C объемъ газа увеличивается на 0,00367 или на $\frac{1}{273}$ первоначальной величины. Опредѣляемая такимъ образомъ дробь носитъ названіе средняго коэффиціента расширенія газовъ. Далѣе Гей-Люссакъ, а затѣмъ Дюловгъ и Пти нашли, что увеличеніе объема газа идетъ пропорціонально повышенію температуры только до тѣхъ поръ, пока онъ далекъ еще отъ состоянія предшествующаго обращенію его въ жидкость, чего можно достигнуть сильнымъ охлажденіемъ и совмѣстнымъ съ тѣмъ увеличеніемъ давленія. Изъ закона Гей-Люссака можно вывести такое слѣдствіе, что газы, подверженные одинаковому давленію, находясь при одной и той же температурѣ, обладаютъ одинаковой упругостью. Обозначая объемы газа при температурѣ 0^0 и t^0 соотвѣтственно буквами v_0 и v, напишемъ формулу, выражающую законъ Гей-Люссака въ слѣдующемъ видѣ

$$v = v_0\,(1 + \alpha t) = v_0\,(1 + 0{,}00367\ t).$$

Наиболѣе точные методы изслѣдованій законовъ расширенія газовъ (о которыхъ намъ придется еще говорить далѣе) были даны **Рудбергомъ**, а затѣмъ нѣсколько измѣнены и снабжены указаніями болѣе вѣрныхъ пріемовъ **Магнусомъ** и **Реньо**, работавшими почти одновременно.

Общая формулировка законовъ Маріотта и Гей-Люссака. Какъ мы имѣли случай замѣтить еще въ первой части этого тома, объемы двухъ газовъ при одинаковой температурѣ обратно пропорціональны давленію (законъ Бойля-Маріотта). Если теперь положимъ:

v_0	объемъ данной массы газа при нормальн. давленіи	p_0	и	при	темпер.	0^0 C
v_1	" " " " " давленіи	p	"	"	темпер.	0^0 C
v	" " " " " "	p	"	"	"	t^0 C

то по закону Бойля-Маріотта

$$v_0 : v_1 = p : p_0 \text{ или } p\,v_1 = p_0\,v_0 = \text{Const.}$$

а по закону Гей-Люссака

$$v = v_1\,(1 + \alpha t) \text{ или } v_1 = \frac{v}{1 + \alpha t}.$$

Подставляя найденное значеніе для v_1 въ предыдущее равенство, получимъ формулу, связывающую законъ Маріотта съ закономъ Гей-Люссака

$$\frac{p\,v}{1 + \alpha t} = p_0\,v_0 = \text{Const.}$$

откуда слѣдуетъ:

$$v_0 = \frac{p\,v}{p_0\,(1 + \alpha t)}.$$

Эта формула, составляющая между прочимъ основную формулу для развитія теоріи газовыхъ и воздушныхъ тепловыхъ машинъ, употребляется весьма

часто, когда требуется наблюдаемый объемъ v привести къ нормальному давленію 760 мм. и температурѣ 0° С.

Здѣсь вполнѣ умѣстно распространиться подробнѣе относительно устройства и пользованія ртутнымъ барометромъ, съ идеей котораго читатели познакомились въ первой части при описаніи явленій атмосфернаго давленія.

Знаменитый ученикъ Галилея Торричелли впервые обнаружилъ на опытѣ существованіе и дѣйствіе атмосфернаго давленія, почему ученый міръ призналъ его изобрѣтателемъ барометра, хотя первая мысль возможности устройства подобнаго прибора была высказана еще Галилеемъ и даже Декартомъ. Въ 1643 или 1644 году во Флоренціи Торричелли произвелъ знаменитый опытъ, не разъ повторяемый и нынѣ въ физическихъ лабораторіяхъ. Онъ бралъ широкую стеклянную трубку (длиною приблизительно въ 1 м.), запаянную съ одного конца, наполнялъ ее до краевъ ртутью и затѣмъ, закрывши верхнее отверстіе пальцемъ, опрокидывалъ ее открытымъ концомъ къ низу; тщательно слѣдя, чтобы ртуть при этомъ не выливалась, онъ осторожно окуналъ трубку въ сосудъ со ртутью и открывалъ отверстіе, зажатое пальцемъ, уже подъ поверхностью жидкости въ сосудѣ (рис. 534). Ртуть при этомъ опускалась въ трубкѣ до нѣкотораго уровня *a*. Сколько разъ онъ ни повторялъ опытъ, постоянно оказывалось, что этотъ уровень находится отъ уровня жидкости въ сосудѣ *b* въ одномъ и томъ же разстояніи. Если мы вмѣсто трубки, длиною въ 1 м., возьмемъ двухметровую, наблюдается тоже самое: ртуть постоянно устанавливается на высотѣ 76 см. относительно нижняго уровня. Выше этого уровня трубка была пустой, такъ какъ воздухъ не могъ туда проникнуть. Въ честь изобрѣтателя барометра это пространство до сихъ поръ называютъ Торричелліевой пустотой. Ртутная колонна *ab* уравновѣшиваетъ давленіе, производимое внѣшней атмосферой на поверхность жидкости въ открытомъ сосудѣ, и высотой ея измѣряема можетъ быть величина послѣдняго. Такова простѣйшая конструкція такъ называемаго барометра съ чашечкой. Опытъ Торричелли, прекрасно демонстрирующій явленіе, нельзя однако признать удобнымъ въ качествѣ руководства для изготовленія точнаго барометра, годнаго для научныхъ наблюденій и вотъ по какой причинѣ: при такой простой манипуляціи воздухъ изъ трубки не можетъ быть выгнанъ вполнѣ; онъ отчасти прилипаетъ къ стѣнкамъ и, давя на ртуть, необходимо нарушаетъ правильность показаній прибора. Устранить ошибку можно только продолжительнымъ кипяченіемъ ртути или заполненіемъ трубки съ помощью ртутнаго насоса.



533. Г. Г. Магнусъ.

Далѣе для правильности отсчета показаній желательно, чтобы уровень ртути въ чашечкѣ (куда погружена трубка) оставался неизмѣннымъ. Между тѣмъ какъ обыкновенно съ пониженіемъ давленія ртуть, выливаясь изъ барометрической трубки, повышаетъ этотъ уровень, а при повышенномъ давленіи происходитъ пониженіе его, такъ какъ ртуть изъ чашечки будетъ вталкиваться въ трубку. Помочь этому можно, устраивая чашечку настолько широкой, сравнительно съ діаметромъ трубки, чтобы повышеніе и пониженіе уровня имѣло самое незначительное вліяніе на точность показаній, и имъ безъ большой погрѣшности можно было бы пренебречь. Пожалуй, такіе барометры дѣйствительно цѣлесообразно устанавливать въ какихъ-нибудь опредѣленныхъ мѣстахъ, гдѣ требуется постоянно опредѣлять давленіе, но какъ переносные приборы *они очевидно вовсе* непримѣнимы.



535. Е. Торричелли.

Французскій механикъ Фортенъ нашелъ средство избѣгнуть неудобства, о которомъ только-что была рѣчь, указавъ какъ можно сохранить уровень ртути въ чашкѣ неизмѣннымъ. Его способомъ пользуются и донынѣ, при устройствѣ точныхъ барометровъ съ чашечкой. Фортенъ предложилъ дно стеклянной чашки дѣлать кожанымъ; именно въ видѣ толстаго мѣшка U (рис. 535), подпираемаго снизу винтомъ S, при помощи котораго можно было бы повысить или понизить уровень ртути въ чашкѣ такъ, чтобы поверхность ея всегда чуть касалась штифтика r, сдѣланнаго изъ слоновой кости. Этотъ штифтикъ отмѣчаетъ положеніе нулевого дѣленія верхней шкалы M, составляющей часть металлической оправы прибора (рис. 536). Положеніе верхняго уровня опредѣляется съ помощью вилки Z, снабженной визиромъ v. Барометрическая трубка должна быть такъ далеко вставлена внутрь сосуда, чтобы нижній кончикъ ея всегда находился подъ ртутью. Когда барометръ требуется перенести на другое мѣсто, нужно, дѣйствуя винтомъ S, заставить ртуть заполнить всю трубку и чашечку до краевъ. На рис. 536 представленъ барометръ Фортена, повѣшанный на стѣну. На рис. 537 изображенъ тотъ же барометръ, установленный на штативѣ, удобномъ для переноски. Термометромъ T измѣряютъ температуру ртути и шкалы барометра.

Существуютъ другого рода барометры, гдѣ нѣтъ необходимости приводить жидкость постоянно къ одному уровню — это такъ называемые **сифонные барометры** (въ нихъ трубка содержащая ртуть выгнута на подобіе сифона). Въ такихъ барометрахъ отмѣчають каждый разъ положеніе уровней въ томъ и другомъ колѣнѣ. Діаметры открытаго и закрытаго колѣнъ a и b (рис. 538), въ послѣднемъ надъ ртутью Торричелліева пустота должны быть совершенно одинаковы, чтобы при колебаніяхъ атмосфернаго давленія уровень въ одномъ колѣнѣ повышался настолько, насколько въ другомъ опускался, и обратно.

Особеннаго труда стоило сообщить сифоннымъ барометрамъ портативное устройство. Чтобы при переноскѣ не разбить барометрической трубки, приборъ заключають въ прочный футляръ. На рисункѣ представлена та конструкція сифоннаго барометра, которая впервые была придана ему Гей-Люссакомъ. Короткое колѣно здѣсь также закрыто, и въ немъ сдѣлано только небольшое капилярное отверстіе, вполнѣ достаточное для сообщенія трубки съ внѣшнимъ воздухомъ. Малѣйшее измѣненіе давленія атмосферы повлечетъ за собой соотвѣтственное измѣненіе упругости воздуха въ трубкѣ, но при опрокидываніи прибора сдѣланное отверстіе оказывается слишкомъ малымъ, чтобы ртуть могла выливаться. Благодаря этому приспособленію приборъ можно свободно переносить или перевозить въ лежачемъ положеніи. Чтобы при приведеніи прибора въ вертикальное положеніе (для наблюденія давленія), воздухъ какъ-нибудь не проникъ въ верхнее замкнутое совершенно колѣно, Бунзенъ придумалъ снабдить приборъ особымъ предохранителемъ b, устройство котораго поясняется рисункомъ. Длинное колѣно барометра оканчивается волосной трубкой, доходящей почти до нижняго конца расширенной трубки b.



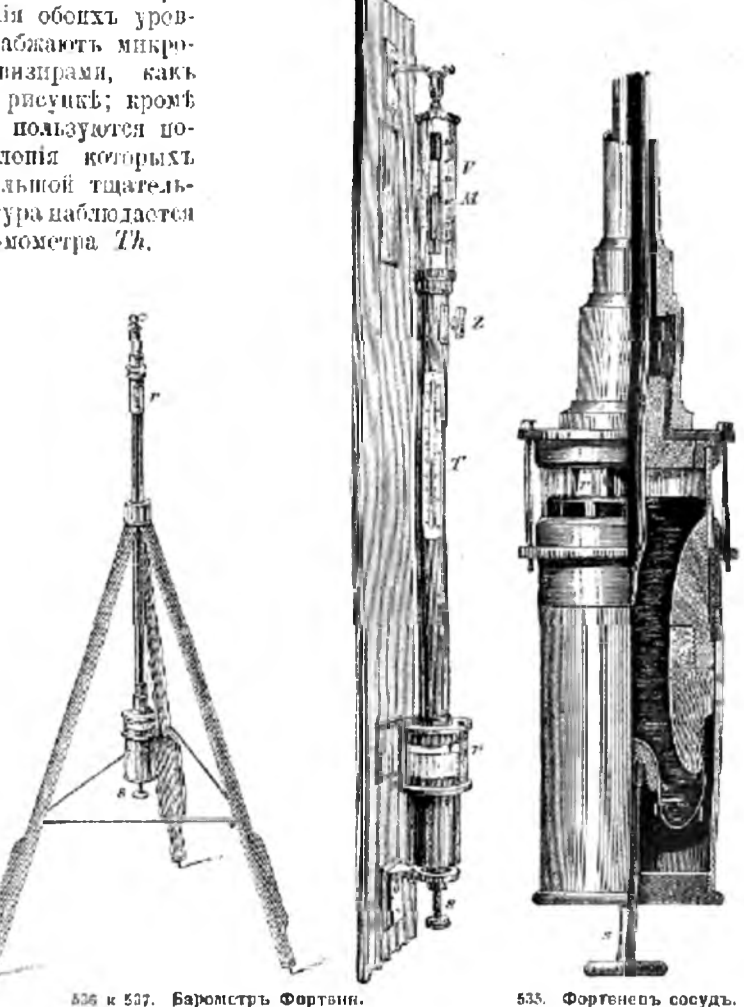
534. Опытъ Торричелли.

Въ старомъ приборѣ Гей-Люссака дѣленія были нанесены прямо на стеклянной трубкѣ барометра. Впослѣдствіи извѣстные фабриканты стеклянныхъ издѣлій Грейнеръ и Гейслеръ измѣнили эту конструкцію, помѣстивъ приборъ въ деревянную оправу, съ соотвѣтственными углубленіями и выемками, позволяющими удобно отмѣчать положенія уровня ртути на шкалѣ. Установка прибора производится слѣдующимъ образомъ. Сначала наводять нижній микроскопъ съ окулярными нитями на вершину мениска ртути въ открытомъ колѣнѣ, что достигается перемѣщеніемъ шкалы, на которую насаженъ микроскопъ; шкала передвигается посредствомъ передаточнаго механизма съ зубчатымъ колесомъ; дѣленія на ней нанесены черезъ каждый миллиметръ. Послѣ этого отмѣчають положеніе верхняго уровня ртути съ помощью второго микроскопа, движущаго на салазкахъ вдоль шкалы. Для болѣе точнаго отсчета дѣленій послѣдній снабженъ ноніусомъ. Температура ртути и шкалы указывается двумя различными термометрами.

На 541 и 542 рисункѣ изображенъ барометръ Вильда-Фюса, представляющій довольно разумную комбинацію того и другого типа, т.-е. барометра съ чашечкой и сифоннаго. При такомъ устройствѣ, дѣлая два, независимыя другъ отъ друга, наблюденія, мы съ полной увѣренностью можемъ судить о томъ, содержится ли воздухъ въ Торричелліевой пустотѣ или нѣтъ. A — это закрытое колѣно барометра; оно погружено въ сосудъ C, такого же устройства.

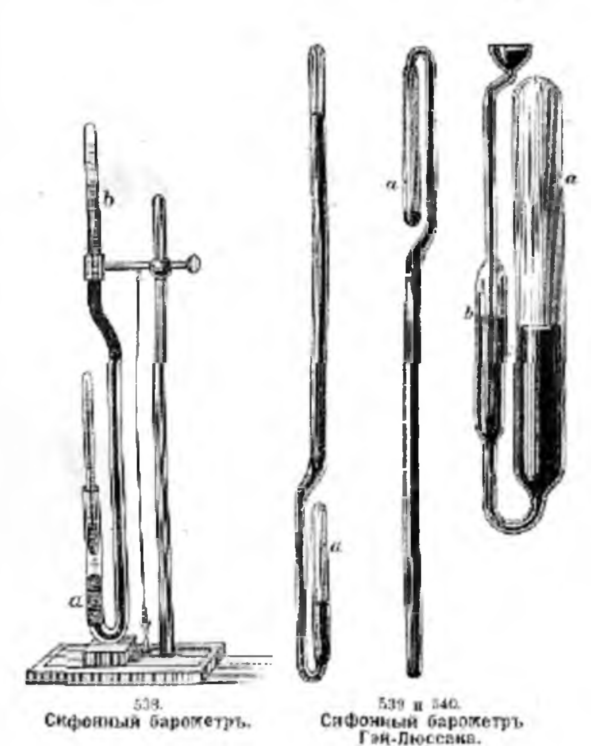
какъ въ Фортеневомъ барометрѣ. Открытое колѣно B спаяно съ колѣномъ A, для чего на верхнемъ концѣ перваго выдуто расширеніе O. Колѣно B сообщается съ внѣшней атмосферой черезъ небольшое отверстіе, открываемое при поднятіи винта S. Винтъ G служитъ для повышенія или пониженія уровня въ Фортеневомъ сосудѣ. Имъ нужно дѣйствовать такимъ образомъ, чтобы вершина мениска ртути въ открытомъ колѣнѣ B совпала съ серединою ноніуса N. Этотъ штрихъ стоитъ противъ нулевого дѣленія шкалы. Для точнаго опредѣленія положенія обоихъ уровней, приборъ снабжаютъ микроскопами или визирами, какъ представлено на рисункѣ; кромѣ того при этомъ пользуются ноніусами N, дѣленія которыхъ нанесены съ большой тщательностью; температура наблюдается съ помощью термометра Th.

Чтобы узнать, содержится ли въ Торричелліевой пустотѣ воздухъ, нужно, отпустивши винтъ K, поднять нижній ноніусъ и вмѣстѣ съ тѣмъ, дѣйствуя винтомъ G, повысить уровень ртути въ сосудѣ до любой высотой (такъ до 8 миллим.). Если теперь разстояніе между верхнимъ и нижнимъ уровнемъ остается неизмѣннымъ, то значитъ, въ Торричеллевомъ пространствѣ нѣтъ воздуха; конечно, это вѣрно только въ томъ случаѣ, если атмосферное давленіе не измѣнилось за этотъ промежутокъ времени. Когда въ Торричелліевомъ пространствѣ находится воздухъ, то разность уровней очевидно должна уменьшиться. Описанный приборъ, благодаря возможности точнаго контроля его показаній, получилъ за послѣднее время широкое распространеніе. Его можно найти всюду въ метеорологическихъ обсерваторіяхъ и наиболѣе хорошо устроенныхъ физическихъ институтахъ.



536 и 537. Барометръ Фортвин. 535. Фортеневъ сосудъ.

Л. Груммахъ указалъ другой способъ, которымъ можно изслѣдовать степень разрѣженія воздуха въ пустомъ пространствѣ; этотъ способъ основанъ на явленіяхъ электрическаго свѣченія въ Гейслеровыхъ трубкахъ. Послѣднее является при столь высокой степени разрѣженія газа, что опредѣлить его какимъ-либо приборомъ, непосредственно измѣряющимъ давленіе, совершенно невозможно. Барометрическая трубка Q, снабженная Гейслеровой трубкой (рис. 543) наполняется хорошо очищенной, прокипяченной ртутью; при помощи крана a трубка эта соединяется съ ртутнымъ насосомъ. Открытое колѣно барометра загнуто подъ прямымъ угломъ и снабжено краномъ H, съ длинной и узенькой стеклянной трубочкой. Такимъ образомъ это колѣно можно по желанію сообщить съ внѣшней атмосферой, или разобщить. Наполняютъ ртутью трубку, постепенно впуская жидкость небольшими порціями, хорошо прогрѣвая ее и выкачивая воздухъ. Выкачиваніе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока Гейслерова трубка не получитъ постояннаго свѣченія и даже далѣе, пока явленіе электрическаго разряда почти совершенно не прекратится и только изрѣдка будутъ проскакивать свѣтлыя искры. Электроды Гейслеровой трубки соединены съ полюсами сильнаго индуктора. Когда произойдутъ описываемыя нами явленія, можно прекратить дальнѣйшее выкачиваніе воздуха, такъ какъ большее разрѣженіе можетъ быть только подмѣчено по измѣненіямъ оптическихъ явленій, сопровождающихъ разрядъ, повышеніе же высоты ртутной колонны не можетъ быть обнаружено даже лучшимъ катетометромъ. Точность своего метода изобрѣтатель показалъ на засѣданіи одной коммиссіи, повѣряющей нормальные приборы, гдѣ имъ было найдено, что представленный для повѣрки барометръ содержитъ воздухъ въ Торричелліевомъ пространствѣ. Наблюденіе барометрическихъ высотъ производилось въ большомъ залѣ компараторовъ съ помощью катетометровъ Бамберга.



538. Сифонный барометръ.

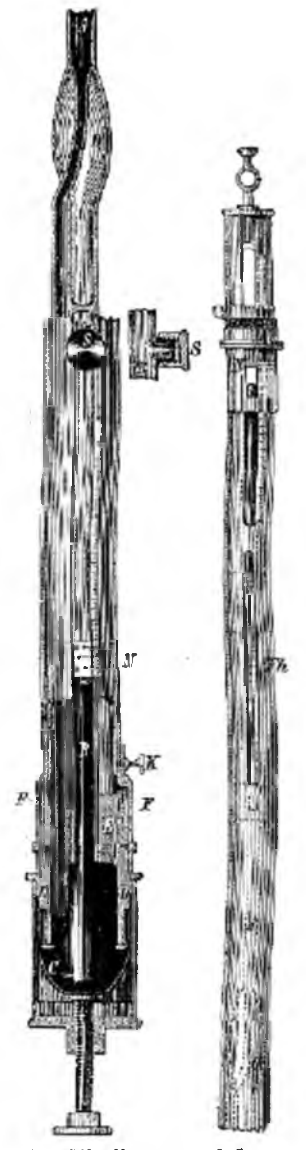
539 и 540. Сифонный барометръ Гэй-Люссака.

Какъ мы видѣли, изготовленіе барометра требуетъ особенно тщательной работы; главное вниманіе должно быть обращено на то, чтобы ртуть и трубки были совершенно сухи и Торричелліево пространство не содержало въ себѣ воздуха. Конечно и наблюденіе барометра нужно вести съ соблюденіемъ всевозможныхъ предосторожностей, а полученный непосредственно результатъ подвергнуть всѣмъ необходимымъ поправкамъ.

Прежде всего требуется барометръ подвѣсить вертикально; ртуть въ трубкѣ при этомъ не мѣшаетъ нѣсколько потрясти или раскачать, чтобы менискъ ея принялъ возможно правильную форму. Если трубка и ртуть хорошо очищены и высушены, все же стекло, съ теченіемъ времени подвер-

гаясь различнымъ поврежденіемъ, становится мутнымъ; тогда ртуть начинаетъ прилипать, и менискъ измѣняетъ свою обыденную форму.

Такъ какъ мѣрой давленія воздуха служитъ длина ртутной колонны, которая претерпѣваетъ измѣненіе при колебаніи температуры, то барометръ всегда снабжается термометромъ, а иногда и двумя. Чтобы, имѣя наблюденную высоту, опредѣлить, какова была бы эта высота при нормальной температурѣ 0° С., необходимо вычесть изъ нея величину, зависящую отъ двухъ факторовъ: расширенія ртути и расширенія барометрической шкалы. Эта поправка тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе давленіе и чѣмъ выше температура. При метеорологическихъ наблюденіяхъ она достигаетъ 1,5—3 мм. Исправленная такимъ образомъ величина носитъ названіе приведенной высоты барометра.



541 и 542. Нормальный барометръ Вильда и Фюса.

Далѣе довольно большое значеніе имѣетъ поправка на измѣненіе уровня жидкости въ капиллярныхъ трубкахъ. Поверхность (менискъ) ртути въ капиллярной трубкѣ имѣетъ выпуклую форму, вслѣдствіе того, что взаимное сцѣпленіе частицъ ея больше, нежели сила притяженія между нею и стекломъ. Существующее на поверхности жидкости натяженіе (поверхность эту можно уподобить растянутой перепонкѣ) оказываетъ давленіе, направленное вертикально внизъ; это давленіе, какъ бы увеличивая вѣсъ ртутной колонны, стремится ее понизить, почему къ наблюденной высотѣ нужно придать капиллярное давленіе.

Наполняя трубку водой, мы обнаружимъ обратное явленіе; жидкость притягивается стѣнками трубки и образуетъ вогнутую форму мениска, такъ какъ сцѣпленіе ея частицъ менѣе силы притяженія между нею и стекломъ.

Повышеніе или пониженіе жидкости въ капиллярной трубкѣ тѣмъ больше, чѣмъ послѣдняя уже; кромѣ того оно находится въ зависимости отъ высоты мениска; напримѣръ оно достигаетъ

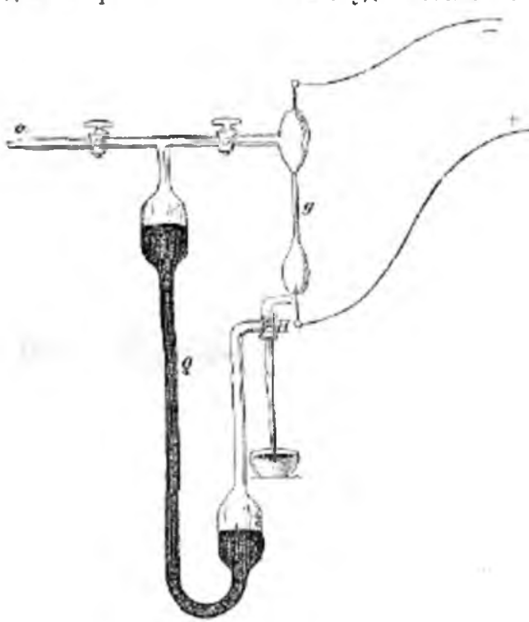
0,2 мм. при діам. труб. въ 10 мм. и выс. мениска въ 1 мм.
1,98 „ „ „ „ „ 4 „ „ „ „ „ 1 „

Величина атмосфернаго давленія также не остается безъ вліянія на высоту мениска. При повышеніи давленія послѣдній принимаетъ болѣе выпуклую форму, при пониженіи же становится площе. Въ сифонномъ барометрѣ вліяніе капиллярности уничтожается тѣмъ, что оба колѣна имѣютъ одинаковые діаметры. Для нормальныхъ барометровъ берутся обыкновенно очень широкія трубки, такъ что вліяніе капиллярнаго давленія ничтожно.

Такъ какъ Торричеллiево пространство въ дѣйствительности всегда оказывается заполненнымъ парами ртути, то необходимо при точномъ сравненіи показаній барометровъ принимать во вниманіе вліяніе упругости ртутныхъ паровъ, если помѣщенія, въ которыхъ находятся барометры, имѣютъ не одинаковую температуру.

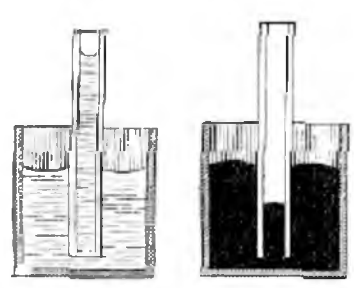
Атмосфера. Какъ только мы начинаемъ составлять себѣ представленіе

о всемъ воздушномъ пространствѣ, окружающемъ нашу землю, такъ сразу *возникаетъ вопросъ, какъ далеко оно простирается. Если бы можно было* предположить, что всѣ слои воздуха имѣютъ одинаковую плотность, то рѣшеніе было бы очевидно. Зная вѣсъ атмосферы, мы тотчасъ же бы опредѣлили разстояніе наиболѣе удаленнаго пограничнаго слоя воздуха. Но воздухъ, какъ и всякій газъ, стремится занять возможно большій объемъ, слѣдствіемъ чего является уменьшеніе его плотности по мѣрѣ поднятія вверхъ надъ поверхностью земли, такъ что предыдущій расчетъ не могъ бы намъ дать въ дѣйствительности представленія о предѣлахъ атмосферы. По гипотезѣ Воластона воздушное пространство не заходитъ за тѣ предѣлы, гдѣ вліяніе притяженія луны настолько сильно, что въ состояніи уравновѣсить притяженіе, оказываемое землею, если предположить, что луна тоже окружена атмосферой; по Шмидту атмосфера кончается тамъ, гдѣ сила упругости уравновѣшивается притяженіемъ воздушной массы къ землѣ. Вѣрнаго указанія относительно предѣловъ атмосферы мы до сихъ поръ дать не въ состояніи, и только по тому, что намъ извѣстно относительно уменьшенія давленія и *паденія температуры по мѣрѣ поднятія, можемъ заключить предположительно,* что предѣлъ этотъ не менѣе 10—14 миль.



543. Приготовленіе нормальнаго барометра.

Ртутная колонна высотой 76 см. при поперечномъ сѣченіи въ 1 кв. с. м., вѣситъ 1,033 кгр.; столько же вѣситъ столбъ воды того же поперечнаго сѣченія, высотою же въ 10 м. Такъ какъ атмосфера въ состояніи удержать въ равновѣсіи эту колонну, то вѣсъ столба воздуха, выдѣленный изъ нея отъ крайнихъ ея предѣловъ до поверхности земли и имѣющій поперечное сѣченіе тоже 1 кв. см. долженъ вѣсить также 1,033 кгр. Таково давленіе атмосферы на 1 кв. см. На 1 кв. деци. давленіе составитъ уже 103,3 кгр., на кв. м. 10330 кгр., а на квадратную милю придется 13500 милліоновъ центнеровъ. Вѣсъ же всего окружающаго насъ воздушнаго океана составитъ 106 495 865 000 милліоновъ центнеровъ. Такъ какъ съ увеличеніемъ или уменьшеніемъ высоты давленіе воздуха значительно измѣняется, то, говоря о давленіи, условились относить указываемыя величины къ высотѣ уровня океана. Наблюденную высоту барометра всегда приводятъ къ высотѣ названнаго уровня.



544 и 545. Капиллярное притяженіе воды и депрессія ртути.

Измѣреніе барометрическихъ высотъ. Еще въ 1643 году приборъ, служащій для опытовъ Торричелли, былъ въ Тосканѣ примѣненъ, какъ измѣритель горныхъ высотъ. Изобрѣтеніе точнаго прибора, основаннаго на

томъ же принципѣ, относятъ къ нѣсколько позднѣйшему времени. Въ концѣ 1647 г. **Паскаль**, желая дать опытное подтвержденіе своимъ изслѣдованіямъ, поручилъ другу своему **Перье** сдѣлать наблюденіе, какъ велико давленіе на горѣ Пюи-де-Домъ, воспользовавшись для этого приборомъ Торричелли. Названная гора находится въ Овернѣ, вблизи города Клермона, на высотѣ 1400 м. надъ уровнемъ моря. Опыты затянулись до сентября 1648 года. Однажды въ саду францисканскаго монастыря (у подошвы горы) были установлены два Торричелліевыхъ барометра. Показанія ихъ совершенно строго согласовались, именно высота ртутной колонны, по опредѣленію Перье, равнялась 26 дюймамъ и $3\frac{1}{2}$ линіямъ (франц. мѣра). Одинъ изъ барометровъ долженъ былъ остаться внизу, чтобы слѣдить отъ времени до времени за колебаніями давленія, другой же Перье взялъ съ собой на вершину Пюи-де-Домъ. Здѣсь онъ повторилъ наблюденіе высоты и замѣтилъ, что первоначальное показаніе барометра измѣнилось. Теперь уровень ртутной колонны понизился до 23 дюймовъ и 2 линій. „Результатъ этотъ“ говоритъ Перье: „всѣхъ насъ сильно поразилъ — мы были прямо изумлены. Желая провѣрить себя, мы снова произвели тотъ же опытъ и снова тѣ же показанія; пять разъ повторяли мы его на вершинѣ горы, мѣняя условія наблюденія; то прикрывая приборъ, то оставляя его свободнымъ, наблюдали показанія при тихомъ состояніи погоды и при вѣтрѣ, потомъ ставили экранъ, защищающій барометръ отъ дѣйствія вѣтра — всегда приходили къ тому же результату.“ При спускѣ съ горы между вершиной и монастырскимъ садомъ построили еще станцію. Здѣсь уровень ртути устанавливался на высотѣ 25 дюймовъ. Спустившись снова къ подошвѣ горы, экспедиція могла убѣдиться, что показаніе нижняго барометра не измѣнилось. Давленіе было попрежнему 26 дюймовъ и $3\frac{1}{2}$ линіи. То же самое показывалъ и барометръ, принесенный съ вершины. Измѣненіе высоты, какъ справедливо заключили наблюдатели, могло произойти только вслѣдствіе поднятія на гору. По мѣрѣ поднятія происходитъ, слѣдовательно, паденіе давленія. Но для такого вывода произведенный опытъ еще нельзя было признать достаточнымъ.



546. Голостерическій барометръ.

На другой день Перье произвелъ подобныя же наблюденія: одно въ частномъ домѣ, вблизи собора Notre-Dame, въ возвышенной части города, другое на церковной башнѣ. Даже на такой небольшой сравнительно высотѣ можно было все же обнаружить паденіе давленія. Теоретическіе выводы Торричелли и Паскаля получили блестящее подтвержденіе. Было найдено, что при поднятіи на 7 туазъ ртутная колонна понижалась приблизительно на $\frac{1}{2}$ линіи, при поднятіи на 27 туазовъ на $2\frac{1}{3}$ линіи; при 150 туазахъ паденіе уже достигало $15\frac{1}{2}$ линій а при 500-ахъ $37\frac{1}{3}$ (1 м. = 0,513 туаза = 443,3 парижскихъ линій).

Мы съ такой подробностью описали эти опыты, потому что они съ одной стороны представляютъ историческій интересъ, а съ другой даютъ хорошій примѣръ того, какъ правильно поставленнымъ опытомъ могутъ быть подтверждены предсказанія теоріи.

Слѣдствія, выведенныя Перье изъ его столь удачныхъ опытовъ, представляютъ, пожалуй, не менѣе интереса, нежели самые опыты. Отъ него, напримѣръ, *не ускользнуло, что паденіе барометрической высоты совершается* равномѣрно. Въ этомъ онъ убѣдился изъ математическихъ вычисленій. „Я не сомнѣваюсь“, пишетъ онъ Паскалю въ одномъ изъ своихъ отчетовъ; „что *въ одинъ прекрасный день я буду имѣть счастіе представить* Вамъ *табличку* распредѣленія давленія съ повышеніемъ на каждыя сто туазъ“. Однако приборъ Торричелли въ этомъ отношеніи не могъ быть признанъ подходящимъ *инструментомъ; требовалось сдѣлать еще много усовершенствованій.* Когда Буге въ 1743 г. вернулся изъ Перу, гдѣ онъ изслѣдовалъ распредѣленіе давленія на возвышенностяхъ Андскаго хребта, то, сличивъ результаты съ предвычисленной ранѣе формулой, онъ замѣтилъ, что послѣдняя оказывалась справедливой только для значительныхъ высотъ. Это происходило потому, что тогда при расчетахъ не принимали во вниманіе расширенія атмосферныхъ слоевъ отъ дѣйствія теплоты, а также уменьшенія вѣса воздушной колонны отъ дѣйствія центробѣжной силы, вліяніе которой различно для мѣстъ неодинаковой географической широты. Впослѣдствіи капитальныя изслѣдованія по этому вопросу были произведены Рамондомъ въ Пиренеяхъ. Лапласъ воспользовался добытыми здѣсь данными для составленія формулъ, по которымъ можетъ быть опредѣлена высота мѣста надъ уровнемъ моря изъ наблюденія барометрическаго давленія; этими формулами пользуются и до сегодня. Физическая географія получила вмѣстѣ съ тѣмъ новое могущественное средство для своего развитія. Прежде для опредѣленія высоты мѣста приходилось находить рѣшеніе довольно сложной тригонометрической задачи, теперь же каждый путешественникъ или изслѣдователь гористыхъ мѣстностей можетъ всегда легко опредѣлить, на какой высотѣ онъ находится, произведя довольно несложный опытъ, отнимающій сравнительно немного времени, что имѣетъ важность не только, какъ мы сказали, для развитія физической географіи, но также и другихъ областей знаній, какъ-то: геологіи, географіи растеній и вообще наукъ, относящихся къ изученію свойствъ земной поверхности. Читая сочиненія Гумбольдта, относящіяся къ разсматриваемому вопросу, прямо удивляешься, какъ обогатилась наука, благодаря введенію новаго метода географическихъ измѣреній. Въ настоящее время существуютъ гипсометрическія таблицы, опредѣляющія высоту надъ уровнемъ моря въ различныхъ пунктахъ земной поверхности. По этимъ таблицамъ механикъ практикъ можетъ изготовить пластичное изображеніе земныхъ полушарій съ точнымъ обозначеніемъ всѣхъ возвышенностей и горныхъ хребтовъ, по которымъ, можетъ-быть, никогда не ступала его нога. Картографическое искусство получило совершенно новые пути для изображенія рельефа мѣстности; смотря на географическую карту, мы легко можемъ видѣть, насколько высоко тотъ или иной пунктъ лежитъ надъ уровнемъ моря. И всѣмъ этимъ мы главнымъ образомъ обязаны барометрическимъ изслѣдованіямъ.

За послѣднее время для измѣренія высотъ различныхъ мѣстностей часто пользуются такъ называемыми анероидными или голостерическими барометрами. Главную часть ихъ составляетъ металлическая, пустая внутри коробка съ гофрированной крышкой. Въ зависимости отъ колебанія давленія гофрированная *пластинка измѣняетъ свою форму, измѣненія эти черезъ посредство* рычажной передачи сообщаются указателю, движущемуся по нанесенной эмпирически шкалѣ. На рисункѣ 546 изображенъ голостерическій барометръ съ *металлической шкалой, снабженный термометромъ и особымъ приспособленіемъ*, компенсирующимъ вліянія, происходящія отъ измѣненія температуры, такъ что на шкалѣ даются уже показанія, приведенныя къ 0° С. Къ *прибору прилагается табличка*, указывающая высоту мѣстности, соотвѣтствующую показаніямъ барометра. Такой приборъ вполнѣ удобенъ въ пути,

но онъ столь подверженъ различнымъ измѣненіямъ, что показанія его никогда не достигаютъ той точности, какую можетъ дать хорошій ртутный барометръ. Для контроля поэтому слѣдуетъ отъ времени до времени сравнивать его съ послѣднимъ.

Для опредѣленія разности высотъ между двумя пунктами, нужно, отмѣтивъ одновременно въ обоихъ мѣстахъ показанія барометра, воспользоваться затѣмъ слѣдующей формулой, дающей искомое разстояніе въ метрахъ:

$$H = 18450\ (\log b_0 - \log b_1)\ (1 + 0{,}004\ t)\ \text{м.}$$

Здѣсь b_0 показаніе барометра въ болѣе низкомъ пунктѣ; b_1 — показаніе его въ возвышенномъ пунктѣ; t — средняя величина температуры обоихъ пунктовъ. Если разность высотъ не превышаетъ 1000 м., можно пользоваться упрощенной формулой:

$$H = 16000\ \frac{b_0 - b_1}{b_0 + b_1}\ (1 + 0{,}004\ t)\ \text{м.}$$

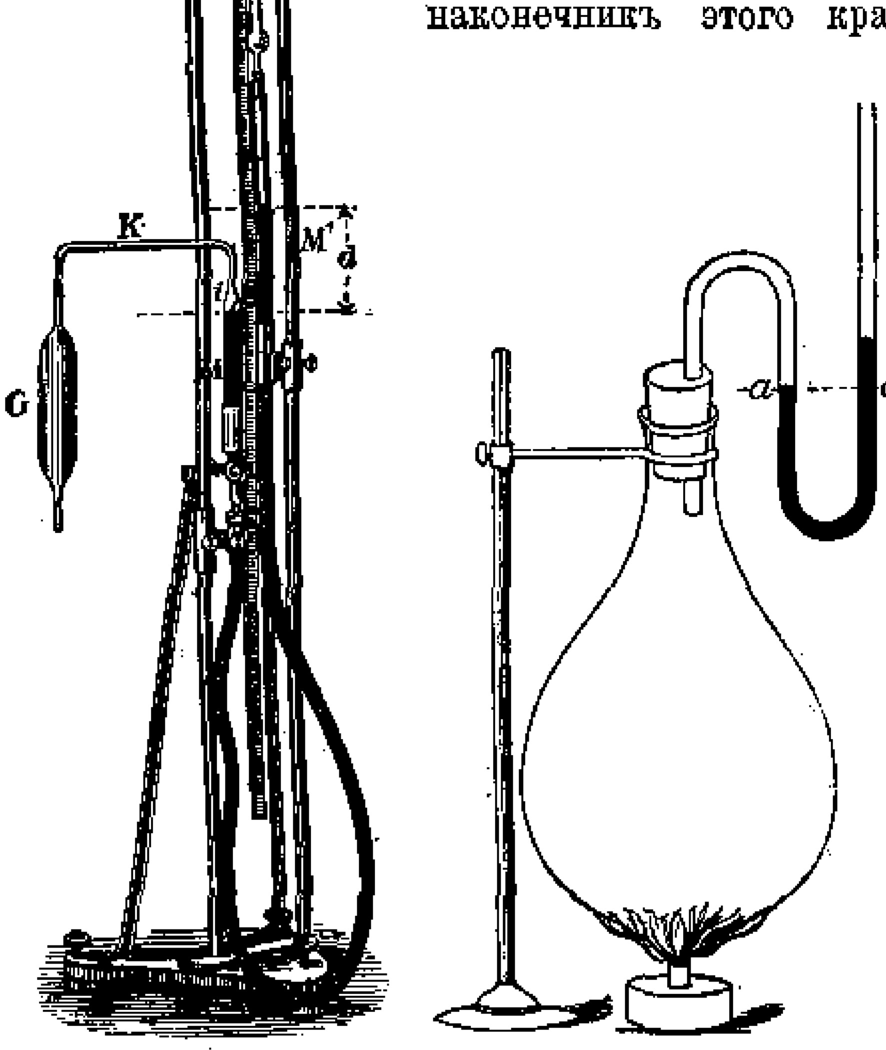
Отсюда видно, что для небольшихъ разностей высотъ паденію барометра на 1 мм. соотвѣтствуетъ приблизительно поднятіе 10,5 м.

Гипсотермометръ. Такъ какъ температура кипѣнія воды зависитъ отъ величины атмосфернаго давленія, то и термометръ можетъ быть употребленъ для измѣренія высоты мѣста. Для этого слѣдуетъ только воспользоваться таблицами Реньо, указывающими зависимость между температурой кипѣнія и давленіемъ водяного пара. Для намѣченной цѣли достаточно, чтобы шкала термометра имѣла дѣленія только въ промежуткѣ между 95°—100° С., но зато здѣсь дѣленія должны быть нанесены особенно часто (для болѣе или менѣе точныхъ измѣреній интервалъ между двумя сосѣдними дѣленіями долженъ соотвѣтствовать разности температуръ 0,005° С.), такъ какъ пониженію температуры кипѣнія на 0,1° С. отвѣчаетъ паденіе барометрической высоты на 2,7 мм, т.-е. поднятіе вверхъ на высоту 28,35 м. Употребляемые для этой цѣли термометры носятъ названіе гипсотермометровъ.

Послѣ этого небольшого отступленія возвратимся къ вопросу о расширеніи газообразныхъ тѣлъ. Какъ мы видѣли, газъ, будучи подверженъ постоянному давленію, при нагрѣваніи на 1° С. увеличивается въ объемѣ на $\frac{1}{273}$ первоначальной величины. Измѣнимъ опытъ (стр. 445) слѣдующимъ образомъ: воспрепятствуемъ газу расширяться при нагрѣваніи, т.-е. допустимъ, что объемъ его во время нагрѣванія остается постояннымъ; этого можно достигнуть только соотвѣтственнымъ увеличеніемъ давленія. Положимъ, у насъ имѣется, какъ прежде (рис. 548) стеклянная колба съ ртутнымъ манометромъ. Температура газа внутри остается постоянно 0° С. и давленіе его равно атмосферному, такъ что ртуть въ обоихъ колѣнахъ манометра устанавливается на томъ же уровнѣ. Повысимъ теперь температуру газа на одинъ градусъ. Если мы хотимъ, чтобы объемъ его при этомъ остался неизмѣннымъ, намъ нужно будетъ въ открытое колѣно манометра подлить ртути на столько, чтобы давленіе на газъ увеличилось на $\frac{1}{273}$ первоначальной величины; такимъ образомъ при нагрѣваніи воздуха на 1° С. при постоянномъ объемѣ, упругость его увеличивается на $\frac{1}{273}$; при нагрѣваніи на 2° С. для сохраненія объема газа неизмѣннымъ придется увеличить производимое на него раньше давленіе на $\frac{2}{273}$, а при нагрѣваніи до 273° должны будемъ его вдвое увеличить, если опять-таки желаемъ сохранить тотъ же объемъ.

Мы привели описаніе этого опыта для того, чтобы яснѣе представить идею прибора, помощью котораго можно произвести точное и строго научное опредѣленіе температуры тѣла. Основныя данныя термометріи добыты благодаря употребленію упомянутаго прибора — такъ называемаго воздушнаго термометра. Первымъ изобрѣтателемъ его является Рудбергъ, предло-

жившій измѣрять температуру, наблюдая соотвѣтственное измѣненіе упругости опредѣленнаго количества газа, объемъ котораго остается при нагрѣваніи постояннымъ. Его приборъ представляетъ изъ себя вообще какой бы то ни было стеклянный сосудъ, заполненный воздухомъ и соединенный капиллярной трубочкой съ другой болѣе широкой вертикальной трубкой съ дѣленіями; *въ послѣднюю наливается ртуть и уровень ея въ закрытомъ колѣнѣ* поддерживается постоянно противъ одной и той же помѣтки. На рисункѣ 547 представлена конструкція воздушнаго термометра въ той формѣ, какую придалъ ему Джолли. Къ цилиндрическому сосуду *G*, наполненному сухимъ воздухомъ, припаивается выгнутая дважды подъ прямымъ угломъ капиллярная трубочка *K*; къ ней припаяна въ свою очередь широкая трубка *M*, *со стальнымъ краномъ у основанія. Металлическій* наконечникъ этого крана посредствомъ винта соединяется съ другимъ металлическимъ наконечникомъ, а этотъ въ свою очередь при помощи толстой каучуковой трубки соединенъ со стеклянной трубкой *M'*. Обѣ трубки *M* и *M'* можно опускать и поднимать, двигая ихъ въ салазкахъ съ помощью микрометреннаго винта (на рисункѣ не обозначено). Обѣ онѣ, равно какъ *и каучуковая кишка*, наполнены ртутью. Въ той части трубки *M*, гдѣ послѣдняя соединяется съ капиллярной трубочкой, припаяна тоненькая скобочка (*i*) изъ темнаго стекла, отмѣчающая, *до какого уровня нужно доводить* ртуть въ этомъ колѣнѣ, чтобы объемъ воздуха въ цилиндрическомъ сосудѣ оставался неизмѣннымъ. Разстояніе между уровнями ртути въ обоихъ колѣнахъ или отсчитывается по масштабу *I*, *или же, лучше, измѣряется катетометромъ. Сначала сосудъ G и капиллярную* трубку окружаютъ тающимъ снѣгомъ и доводятъ уровень ртути въ лѣвомъ колѣнѣ до помѣтки *i*. Затѣмъ замѣчаютъ давленіе P_0 воздуха въ сосудѣ. Если уровень ртути въ правомъ колѣнѣ лежитъ на длину *d* выше или ниже, чѣмъ въ лѣвомъ, давленіе это равно соотвѣтствено b + d или b — d, гдѣ b величина атмосфернаго давленія. Такъ же точно измѣряютъ давленіе *P* воздуха въ сосудѣ *G*, когда послѣдній приведенъ въ со*прикосновеніе съ тѣломъ, температуру T котораго желаютъ опредѣлить. Для* этой температуры, пренебрегая расширеніемъ стекла, можемъ дать слѣдующую формулу: $T = \frac{P - P_0}{a . P_0}$, гдѣ $a = 0{,}00367$ означаетъ коэффиціентъ расширенія воздуха. Зная T, изъ той же формулы обратно можемъ найти значеніе $a = \frac{P - P_0}{P_0 T}$. Для T удобнѣе всего въ этомъ случаѣ принять температуру па-



547. Воздушный термометръ Джолли. 548.

ровъ кипящей воды, причемъ можно пользоваться приборомъ, изображеннымъ схематически на рисункѣ.

Такими опытами было обнаружено, что коэффиціенты расширенія различныхъ газовъ несовсѣмъ одинаковы, такъ напримѣръ:

коэффиціентъ расширенія водорода 0,00366
„ „ воздуха 0,00367
„ „ углекислаго газа 0,00370.

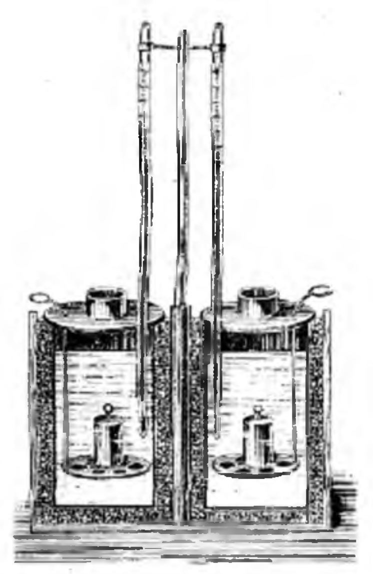
Вообще же величина его тѣмъ больше, чѣмъ состояніе газа ближе къ обращенію его въ жидкость. Пользованіе газовымъ термометромъ для опредѣленія температуры весьма важно какъ съ точки зрѣнія чисто научной, такъ и практической, потому что расширеніе воздуха при постоянномъ давленіи, или же увеличеніе его упругости при постоянномъ объемѣ совершается строго пропорціонально повышенію температуры, такъ какъ воздухъ, какъ при высокихъ, такъ и при низкихъ температурахъ, представляетъ изъ себя постоянный газъ, т.-е. онъ далекъ отъ обращенія въ жидкость.

Абсолютный нуль температуры. Какъ передъ этимъ было пояснено, если при постоянномъ объемѣ газа повысимъ температуру его отъ 0° до 1° С., то упругость его увеличится на $\frac{1}{273}$ первоначальной величины (при 0° С.). При повышеніи температуры до 273° С. упругость увеличивается вдвое. Обратно, при пониженіи температуры отъ нуля на 1° С. упругость уменьшится на $\frac{1}{273}$. Если же бы намъ удалось понизить температуру до 273° С., то, какъ слѣдуетъ изъ нашего разсужденія, воздухъ вовсе потерялъ бы упругость, а вмѣстѣ съ тѣмъ температура его достигла бы абсолютнаго нуля, и хотя въ дѣйствительности этого достигнуть невозможно, все же при точныхъ научныхъ измѣреніяхъ принято считать градусы температуры отъ опредѣляемой такимъ образомъ точки. Теперь мы можемъ высказать одно изъ основныхъ положеній въ ученіи о газахъ въ такой формѣ: давленіе газа при постоянномъ объемѣ пропорціонально его абсолютной температурѣ. Абсолютному нулю на Цельзіевой шкалѣ соотвѣтствуетъ 273-е дѣленіе ниже точки замерзанія; обратно на абсолютной шкалѣ 273° обозначаетъ температуру замерзанія воды, такъ что температурѣ 20° С. на абсолютной шкалѣ температуръ соотвѣтствуетъ дѣленіе съ обозначеніемъ 273 + 20 = 293°.

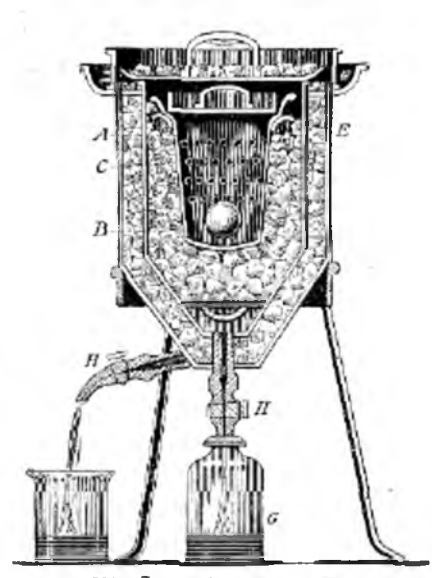
Калориметрія. Разсмотрѣвъ главнѣйшіе вопросы термометріи, обратимся теперь къ калориметріи, т.-е. къ той части въ ученіи о теплотѣ, гдѣ разсматриваются способы измѣренія количествъ тепла. Когда два тѣла приведены въ соприкосновеніе, то по истеченіи извѣстнаго промежутка времени температуры обоихъ сравниваются, причемъ тѣло, болѣе теплое, отдаетъ часть своей теплоты болѣе холодному. Общая температура обоихъ тѣлъ, приведенныхъ въ соприкосновеніе, будетъ вообще нѣкоторая средняя между тѣми температурами, какія эти тѣла имѣли порознь. Но, какъ оказывается, послѣ того, какъ наступитъ сглаживаніе температуръ, то и другое тѣло, если даже массы обоихъ одинаковы, въ зависимости отъ ихъ природы, обладаютъ одно большимъ количествомъ теплоты, другое меньшимъ. Если, положимъ, сообщивъ извѣстное количество тепла, мы повысимъ температуру 1 кгр. ртути на 10° С., то, чтобы нагрѣть настолько же 1 кгр. воды, намъ потребуется употребить количество тепла въ 30 разъ большее. Въ калориметріи для опредѣленія единицъ количества теплоты, сообщаемой тѣлу, чаще всего сравниваютъ его съ количествомъ тепла, способнымъ повысить температуру извѣстной массы на опредѣленную величину. Именно, подъ единицей количества теплоты подразумѣваютъ то ея количество, которое потребно для нагрѣванія 1 гр. дистиллированной воды при 4° С. на 1° С. Эту единицу называютъ малой калоріей (иначе граммъ-калоріей) для отличія отъ другой часто употребляемой въ техникѣ единицы теплоты большой ка-

лоріи (или килограммъ калоріи), въ 1000 разъ большей первой. Количество тепла, потребное для повышенія температуры даннаго тѣла на 1° С., называютъ *теплоемкостью тѣла*; отношеніе же теплоемкости тѣла къ теплоемкости равной массы дистиллированной воды при температурѣ + 4° С. называютъ *удѣльной теплотой* (иногда ту же величину называютъ теплоемкостью вещества). Удѣльная теплота выражается такимъ образомъ, какъ слѣдуетъ изъ опредѣленія, отвлеченнымъ числомъ; удѣльной теплотой единица обладаетъ чистая дистиллированная вода при температурѣ + 4° С.

Для показанія, что различныя тѣла имѣютъ различныя удѣльныя теплоты, *Тиндаль* произвелъ слѣдующій опытъ, часто показываемый на демонстраціяхъ: пять шариковъ одинаковаго вѣса: желѣзный, мѣдный, оловянный,




519. Двойной калориметръ.



550 Ледяной калориметръ.

свинцовый и висмутовый нагрѣваются одновременно въ масляной ваннѣ приблизительно до 180° С.; затѣмъ они быстро вынимаются и кладутся *на укрѣпленный на штативѣ восковой кружокъ.* Воскъ подъ ними тотчасъ начинаетъ таять и они внѣдряются въ пластинку, но неодинаково быстро; желѣзный и мѣдный шарики дѣлаютъ сразу довольно большія выемки и вскорѣ, пройдя насквозь, падаютъ на столъ; оловянный шарикъ то же къ этому времени погрузится довольно глубоко, но насквозь еще не пройдетъ, свинцовый же и висмутовый сдѣлаютъ только самыя небольшія углубленія на поверхности.

Опытъ показываетъ, что желѣзо обладаетъ наибольшей удѣльной теплотой, затѣмъ слѣдуютъ мѣдь, олово и т. д.

Удѣльная теплота жидкихъ и твердыхъ тѣлъ опредѣляется преимущественно двумя слѣдующими способами: способомъ смѣшенія и способомъ таянія льда; довольно употребителенъ также способъ охлажденія.

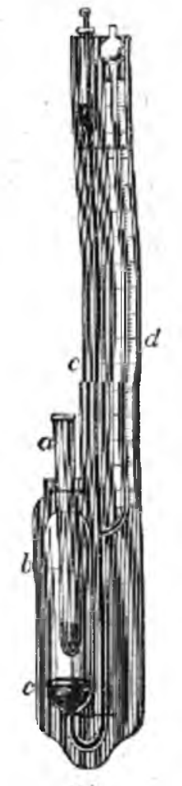
Способъ смѣшенія. Принципъ его заключается въ слѣдующемъ: опредѣленное вѣсовое количество (положимъ m гр.) изслѣдуемаго вещества нагрѣвается до опредѣленной, точно измѣряемой температуры t и затѣмъ быстро погружается въ сосудъ (калориметръ), наполненный опредѣленнымъ, заранѣе отвѣшеннымъ количествомъ воды (положимъ m_1 гр.) температуры t_1.

Имѣя эти данныя и наблюдая повышеніе температуры воды послѣ погруженія въ нее изслѣдуемаго тѣла, легко вычислимъ удѣльную теплоту послѣдняго, назовемъ ее x. Если назовемъ общую температуру смѣси, при установившемъ состояніи, T, то, приравнявъ количества теплоты отданное изслѣдуемымъ тѣломъ и пріобрѣтенное водой, напишемъ слѣдующее равенство: $mx\ (t - T) = m_1\ (T - t_1)$, откуда опредѣляемъ $x = \frac{m_1}{m} \cdot \frac{T - t_1}{t - T}$.

Водяной калориметръ, употребляемый при опредѣленіи удѣльной теплоты способомъ смѣшенія, представляетъ изъ себя обыкновенно тонкостѣнный латунный сосудъ съ обкладкой, не пропускающей тепла, чтобы по возможности устранить потерю теплоты лучеиспусканіемъ. Калориметръ снабжается мѣшалкой для скорѣйшаго уравненія температуръ соприкасающихся тѣлъ и чувствительнымъ термометромъ съ мелкими дѣленіями. При вычисленіи удѣльной теплоты слѣдуетъ всегда принимать во вниманіе и теплоемкость калориметра. Вѣсовое количество воды, требующее для своего нагрѣванія на 1^0 С. то же количество теплоты, какъ и сосудъ калориметра, называютъ водянымъ эквивалентомъ калориметра.

На рис. 549 представленъ двойной калориметръ, служащій для быстраго сравненія теплоемкостей двухъ различныхъ тѣлъ.

Способъ таянія льда. На рис. 550 представленъ такъ называемый ледяной калориметръ Лавуазье и Лапласа. *Опредѣленное вѣсовое количество изслѣдуемаго вещества*, напримѣръ желѣзный шарикъ, нагрѣвается до опредѣленной температуры и погружается въ ящичекъ A, вложенный въ сосудъ съ двойными стѣнками, между которыми находятся куски колотаго льда при температурѣ $O^0 C$. Шарикъ вскорѣ самъ охлаждается до $O^0 C$, отдавая свою теплоту льду, часть котораго превращается вслѣдствіе этого въ воду при температурѣ O^0. Когда кранъ H открыть, вода свободно стекаетъ въ подставленный снизу сосудъ G. Чтобы ледъ, заключенный въ сосудѣ B, не могъ получать кромѣ того теплоту отъ другого какого-либо источника, онъ въ свою очередь окружается внѣшней оправой C и пространство между ними также заполняется тающимъ льдомъ; для стока воды сдѣланъ въ этой оправѣ второй кранъ H_1. Опредѣливъ количество воды, растаявшей въ сосудѣ B калориметра, можемъ найти теплоемкость изслѣдуемаго тѣла, вспомнивъ, что скрытая теплота таянія льда = 80, (см. далѣе) т.-е., что для обращенія одного грамма льда при $O^0 C$ въ воду также температуры $O^0 C$ требуется затратить 80 малыхъ калорій теплоты. Если положимъ масса шарика m гр. и нагрѣть онъ былъ до температуры t^0, то количество отданной имъ теплоты $= mtx$ мал. калоріи; количество теплоты, обратившей q гр. льда въ воду $= q\,80$; откуда $mtx = 80q$, или $x = \frac{80\,q}{mt}$.



551. Ледяной калориметръ Бунзена.

Описанный методъ не можетъ считаться вполнѣ точнымъ, такъ какъ не вся образовавшаяся при таяніи льда вода стекаетъ внизъ, но часть ея вслѣдствіе прилипанія остается во льду; чтобы этимъ можно было пренебречь безъ большой погрѣшности, необходимо, чтобы количество стекшей воды было достаточно велико, для чего изслѣдуемое вещество должно быть взято въ достаточномъ количествѣ; только при этомъ условіи можно получить надежный результатъ.

Калориметръ Бунзена, основанный приблизительно на томъ же принципѣ.

не обладаетъ упомянутымъ источникомъ ошибокъ. Отличіе его метода заключается въ томъ, что для измѣренія удѣльной теплоты тѣла опредѣляютъ не количество (вѣсовое) растаявшаго льда, а измѣненіе объема, происходящее при обращеніи нѣкотораго количества льда при $0^{\circ}C$ въ воду при $0^{\circ}C$. Приборъ Бунзена изображенъ на рисункѣ 551. Пробирка *a* впаяна въ сосудъ продолговатой формы *b*; длинная U-образная трубка *cc* составляетъ продолженіе этого сосуда; верхняя часть сосуда наполнена дестиллированной кипяченой водой, нижняя его часть и вся трубка *cc* заполняется прокипяченой ртутью. До начала опыта воду въ сосудѣ *b* замораживаютъ и поддерживаютъ при O^{0}, для чего приборъ погружаютъ въ тающій снѣгъ или въ сосудъ съ кусками колотаго льда. Опредѣленное вѣсовое количество изслѣдуемаго вещества, нагрѣтаго до извѣстной температуры, бросаютъ въ пробирку и по паденію ртутной колонны въ капиллярной калиброваной трубкѣ *d*, опредѣляютъ уменьшеніе объема, являющееся слѣдствіемъ обращенія льда въ жидкость.

Сравненіе удѣльныхъ теплотъ тѣлъ способомъ охлажденія производится на основаніи наблюденія времени, потребнаго для того, чтобы каждое изъ изслѣдуемыхъ тѣлъ охладилось отъ нѣкоторой начальной до другой опредѣленной температуры, вслѣдствіе потери тепла лучеиспусканіемъ; конечно при этомъ всѣ тѣла съ поверхности слѣдуетъ окружить однимъ и тѣмъ же веществомъ.

Такими способами были опредѣлены удѣльныя теплоты жидкихъ и твердыхъ тѣлъ, причемъ были получены слѣдующія данныя: удѣльная теплота висмута (средняя величина) оказывается 0,030, свинца 0,031, платины 0,032, серебра 0,056, латуни 0,086, мѣди 0,093, желѣза 0,113, ртути 0,003. Вода изъ всѣхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ обладаетъ наибольшей теплоемкостью: ея удѣльная теплота принята за единицу. Большой теплоемкостью воды объясняется то, что морской климатъ и вообще береговые климаты большихъ водныхъ пространствъ отличаются умѣренностью: лѣтомъ вода нагрѣвается довольно медленно, зато и зимой медленно отдаетъ полученную теплоту.

Вильямъ Томсонъ (нынѣ лордъ Кельвинъ) показалъ, какъ можно составить новую шкалу температуръ въ предположеніи, что удѣльная теплота тѣла не зависитъ отъ его температуры и будь это допущеніе справедливо предложенный имъ методъ измѣренія температуръ имѣлъ бы огромное научное значеніе. Нагрѣвая въ теченіе извѣстнаго времени въ нѣкоторомъ сосудѣ кусокъ платины, опредѣленнаго вѣса, и опуская затѣмъ этотъ кусокъ въ другой сосудъ съ водой, вѣсъ которой и температура заранѣе также опредѣлены, мы можемъ найти температуру перваго сосуда, наблюдая повышеніе температуры воды. Если бы при слѣдующемъ опытѣ, взявши вдвое большее количество воды, мы наблюдали бы тоже повышеніе температуры или, взявши то же самое количество воды, замѣтили бы, что температура повысилась вдвое, это бы означало, что первый сосудъ второй разъ былъ также нагрѣтъ до вдвое большей температуры. Только дѣло въ томъ, что то же вѣсовое количество воды при погруженіи въ него одного и того же тѣла нагрѣвается не пропорціонально повышенію температуры послѣдняго, если начальная температура будетъ иная, потому что удѣльная теплота тѣла зависитъ отъ температуры: съ повышеніемъ температуры она возрастаетъ въ большей или меньшей степени, смотря по природѣ изслѣдуемаго тѣла; такъ что для установленія абсолютной шкалы температуръ нельзя воспользоваться вышеописаннымъ методомъ.

Законъ Дюленга и Пти. Какъ гласитъ одинъ изъ основныхъ законовъ химіи, вѣсовыя количества элементовъ или простыхъ веществъ составляющихъ мельчайшую частицу (молекулу) сложнаго вещества находятся въ кратномъ отношеніи съ ихъ атомными вѣсами. На основаніи этого, полагая

атомный вѣсъ водорода = 1, составили таблицу атомныхъ вѣсовъ другихъ элементовъ (относительно водорода). При этомъ оказалось, что удѣльная теплота отдѣльныхъ элементовъ находится почти въ обратной зависимости съ ихъ атомными вѣсами, иначе: произведеніе изъ атомнаго вѣса элемента на удѣльную теплоту его (атомная теплоемкость) въ твердомъ состояніи есть величина постоянная и равна приблизительно 6,4. Законъ этотъ былъ открытъ учеными Дюлонгомъ и Пти и въ честь изобрѣтателей названъ ихъ именемъ. Существенное отступленіе отъ этого закона замѣчается у элементовъ: углерода, бора и силиція, удѣльная теплота которыхъ, какъ показалъ Ф. Веберъ, сильно возрастаетъ съ повышеніемъ температуры, такъ что при высокихъ темперахъ и у этихъ элементовъ атомная теплоемкость близка къ той же постоянной величинѣ. Изслѣдованія Ф. Неймана, Реньо и главнымъ образомъ Коппа показали, что законъ Дюлонга и Пти можно распространить и на твердыя соединенія простыхъ элементовъ; послѣднее открытіе было весьма драгоцѣнно для развитія современной химіи, такъ какъ дало въ руки средство, легко опредѣлять атомныя вѣса вновь открываемыхъ элементовъ. Дѣло сводится къ нахожденію одного изъ множителей произведенія, выражающаго атомную теплоемкость молекулы, которая по предположенію = 6,4.

Удѣльная теплота газовъ и паровъ. Когда говорятъ объ удѣльной теплотѣ тѣла, находящагося въ газообразномъ или парообразномъ состояніи, то всегда различаютъ два случая: или полагаютъ, что объемъ газа остается постояннымъ, или давленіе его сохраняетъ одну и ту же величину за время нагрѣванія. Положимъ, мы одинъ разъ нагрѣваемъ единицу массы газа на 1° С., не позволяя при этомъ газу расширяться, т.-е. сохраняя объемъ его постояннымъ, другой же разъ, не измѣняя производимаго на него давленія, предоставимъ ему свободно расширяться. Масса газа и температура, до которой онъ нагрѣвается, въ обоихъ случаяхъ, какъ мы полагаемъ, одинаковы, но про количество теплоты, сообщаемой ему въ томъ и другомъ случаѣ, нельзя будетъ этого сказать. Въ первомъ случаѣ, когда газъ нагрѣвается при постоянномъ объемѣ, сообщаемая ему теплота идетъ цѣликомъ на его нагрѣваніе, не совершая при этомъ какой-либо посторонней работы, во второмъ же случаѣ, когда давленіе остается постояннымъ, часть теплоты тратится на преодолѣніе его (давленія) при расширеніи газа, т.-е. идетъ на механическую работу. Поэтому количество теплоты, затрачиваемой во второмъ случаѣ, выражающее удѣльную теплоту газа при постоянномъ давленіи, будетъ больше того, которое тратится въ первомъ случаѣ, и означаетъ удѣльную теплоту газа при постоянномъ объемѣ; разность же между обѣими величинами на основаніи закона сохраненія энергіи, трактуемаго въ первой части этого сочиненія, эквивалентна работѣ расширенія газа.

Особенно точными изслѣдованіями удѣльныхъ теплотъ газовъ и паровъ при постоянномъ давленіи мы обязаны работамъ Реньо, примѣнившаго методъ Лавуазье и Лапласа: онъ пропускалъ опредѣленное количество нагрѣтаго до извѣстной температуры газа въ калориметръ и по повышенію температуры воды опредѣлялъ его удѣльную теплоту.

Удѣльная теплота воздуха (при постоянномъ давленіи) оказалась = 0,237; водорода 3,410; водяного пара 0,481.

Удѣльная теплота при постоянномъ объемѣ можетъ быть найдена косвеннымъ путемъ, если извѣстно отношеніе между обѣими удѣльными теплотами при постоянномъ давленіи и при постоянномъ объемѣ. Эта послѣдняя величина, назовемъ ее $K = \frac{C_p}{C_v}$, была впервые опредѣлена экспериментально Клеманомъ и Дезормомъ. Методъ ихъ опредѣленія, которымъ въ послѣднее время съ той же цѣлью воспользовался Рёнтгенъ, представляетъ не мало

трудностей: болѣе простымъ является способъ Кундта, основанный на изслѣдованіи распространенія звуковыхъ колебаній въ газѣ. Для сухого воздуха средняя величина упомянутаго отношенія получилась = 1,41.

Механическая теорія теплоты. Съ древнѣйшихъ временъ вопросъ о сущности тепловыхъ явленій волновалъ умы великихъ мыслителей. Такъ какъ почти всѣ физическія явленія сопровождаются измѣненіемъ теплового состоянія тѣлъ, то еще въ древнія времена теплота признавалась важнѣйшимъ агентомъ всѣхъ процессовъ, происходящихъ въ природѣ, да и до позднѣйшаго времени взглядъ на сущность этихъ процессовъ, причину ихъ возникновенія и ходъ послѣдовательныхъ измѣненій, короче: всѣ наши представленія о явленіяхъ внѣшняго міра оказывались въ большой зависимости отъ того, какихъ взглядовъ держались на сущность явленій тепловыхъ. Всякое новое воззрѣніе влечетъ преобразованіе физическихъ теорій и методовъ изслѣдованія явленій природы.



552. Графъ Румфордъ (Томсонъ).

Древніе считали теплоту огненной стихіей, легкой срединой, способной, въ противоположность матеріи, проникать въ поры тѣлъ. Есть основанія думать, что уже Платонъ имѣлъ нѣкоторое представленіе о теплотѣ, какъ формѣ движенія.

Бэконъ Веруламскій первый сдѣлалъ *попытку объяснить тепловыя явленія* волнообразнымъ движеніемъ молекулъ тѣла, и замѣчательно, что Ньютонъ, который былъ основателемъ теоріи истеченія свѣта, примкнулъ къ этому воззрѣнію, тогда какъ Эйлеръ признавалъ существованіе теплорода или огненной матеріи, которая, будучи сообщена тѣлу, вызываетъ въ немъ рядъ тепловыхъ явленій, а кромѣ того мѣняетъ также и его химическую природу; казалось, можно было найти подтвержденіе этому взгляду въ явленіи окисленія *тѣла при высокихъ температурахъ; оттого-то онъ продержался* долгое время и вызвалъ совершенно невѣрное толкованіе химическихъ явленій.

Только опыты графа Румфорда поколебали вѣру въ существованіе теплорода, какъ особаго вещества. Онъ доказывалъ, что существованіе предполагаемаго гипотезой теплорода противорѣчитъ наблюдаемому ежедневно явленію возникновенія теплоты при треніи тѣлъ другъ о друга; мало того, онъ могъ обнаружить опытомъ, что треніе-то и является главнымъ источникомъ сообщаемой тѣлу теплоты. Онъ къ собственному удивленію сдѣлалъ

наблюденіе, что при просверливаніи дулъ у пушекъ, послѣднія сильно нагрѣваются. Обруживъ орудіе муфтой, въ которую была налита вода, Румфордъ скоро довелъ ее до кипѣнія. Не менѣе нагляденъ извѣстный опытъ Гёмфри Дэви (треніе двухъ кусковъ льда другъ о друга способствуетъ болѣе быстрому его таянію). Для превращенія льда въ воду, какъ мы уже замѣтили, требуется затратить большое количество теплоты; кромѣ того удѣльная теплота воды при 0° вдвое превышаетъ удѣльную теплоту льда. Такимъ образомъ при превращеніи льда въ воду по старой теоріи должно бы получиться тѣло, содержащее вдвое большее количество теплорода; это очевидно является доказательствомъ несостоятельности теоріи теплорода; благодаря только тренію тѣло можетъ накоплять въ себѣ новый запасъ теплоты.

Въ настоящее время теплота, равно какъ и свѣтъ всѣми признаются за особый родъ энергіи, и всѣ тепловыя явленія объясняются колебательнымъ движеніемъ молекулъ тѣлъ, вызываемымъ той или другой причиной.

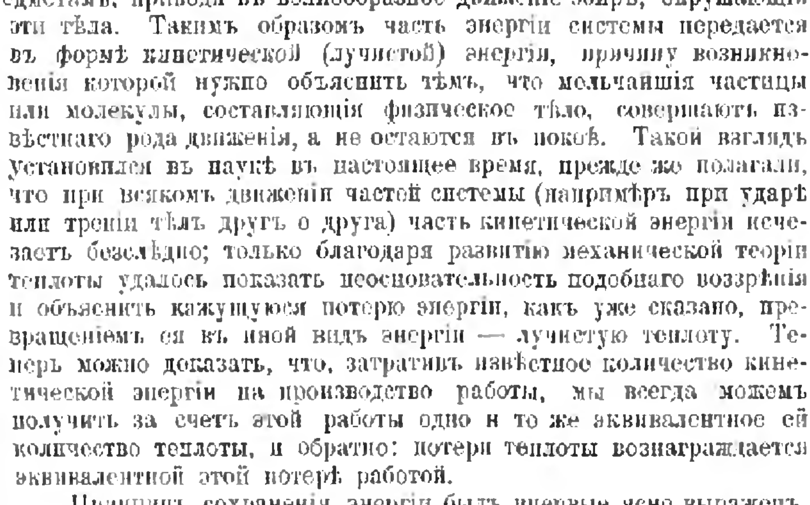


553. Дж. Пр. Джоуль.

Какъ было показано ранѣе, вообще различаютъ два вида энергіи: энергію кинетическую, зависящую отъ скоростей частицъ, составляющихъ одну общую систему, и потенціальную, находящуюся въ зависимости отъ относительнаго расположенія частей системы. Говоря, что тѣло обладаетъ потенціальной энергіей, мы только указываемъ на способность тѣла совершать работу, когда потенціальная энергія обращается въ кинетическую. Такъ, тяжелая масса, поднятая на высоту, растянутая или скрученная пружина, сжатый газъ и т. п. обладаютъ извѣстнымъ запасомъ потенціальной энергіи, такъ какъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ они могутъ совершить работу, причемъ часть потенціальной энергіи перейдетъ въ кинетическую. На основаніи принципа сохраненія энергіи, который распространяется на всѣ физическія явленія, мы должны заключить, что общая энергія системы при какихъ бы то ни было движеніяхъ составныхъ ея частей остается неизмѣнной по величинѣ, хотя при этомъ одинъ родъ энергіи можетъ превращаться въ другой.

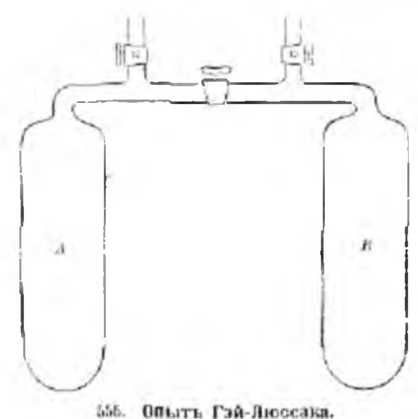
Приведемъ нагрѣтую и растянутую какимъ-нибудь грузомъ проволоку въ соприкосновеніе съ другимъ тѣломъ болѣе низкой температуры. Тогда съ одной стороны проволока будетъ отдавать свою теплоту приближенному къ ней тѣлу, съ другой стороны, сжимаясь, при охлажденіи она будетъ поднимать привѣшенный къ ней грузъ и такимъ образомъ совершать механическую работу. Происходящая вслѣдствіе этого трата кинетической энергіи системы (проволоки съ грузомъ) частью вознаградится увеличеніемъ потенціальной энергіи поднятаго груза, съ другой стороны за счетъ ея увеличится количество теплоты въ тѣлѣ, приведенномъ въ соприкосновеніе съ грузомъ.

Но проволока отдаетъ свою теплоту не только тому тѣлу, которое съ нимъ находится въ непосредственномъ соприкосновенiи, но и другимъ сосѣднимъ съ нимъ предметамъ, приводя въ волнообразное движенiе эфиръ, окружающiй эти тѣла. Такимъ образомъ часть энергiи системы передается въ формѣ кинетической (лучистой) энергiи, причину возникновенiя которой нужно объяснить тѣмъ, что мельчайшiя частицы или молекулы, составляющiя физическое тѣло, совершаютъ извѣстнаго рода движенiя, а не остаются въ покоѣ. Такой взглядъ установился въ наукѣ въ настоящее время, прежде же полагали, что при всякомъ движенiи частей системы (напримѣръ при ударѣ или тренiи тѣлъ другъ о друга) часть кинетической энергiи исчезаетъ безслѣдно; только благодаря развитiю механической теорiи теплоты удалось показать неосновательность подобнаго воззрѣнiя и объяснить кажущуюся потерю энергiи, какъ уже сказано, превращенiемъ ея въ иной видъ энергiи — лучистую теплоту. Теперь можно доказать, что, затративъ извѣстное количество кинетической энергiи на производство работы, мы всегда можемъ получить за счетъ этой работы одно и то же эквивалентное ей количество теплоты, и обратно: потери теплоты вознаграждается эквивалентной этой потерѣ работой.



534. Пневматическое огниво.

Принципъ сохраненiя энергiи былъ впервые ясно выраженъ, какъ всѣми безспорно признано, Гейльбронскимъ врачемъ Юлiемъ Робертомъ Майеромъ. Благодаря его безсмертному мемуару „О силахъ неодушевленной природы" (1842) и большому ученому труду „Органическая жизнь и обмѣнъ веществъ" (1845) высказанный имъ принципъ сдѣлался всеобщимъ достоянiемъ ученаго мiра. Въ знаменитомъ сочиненiи Генриха Гельмгольтца „О законѣ сохраненiя энергiи" (Ueber die Erhaltung der Kraft 1847) дана математическая разработка и распространенiе этого принципа на всѣ отдѣлы физики. Робертъ Майеръ первый также указалъ, какъ можетъ быть найдена вычисленiемъ величина механическаго эквивалента теплоты (въ 1842 г.). Но классическiй опытъ опредѣленiя механическаго эквивалента былъ произведенъ англичаниномъ Джемсомъ Прескоттомъ Джоулемъ въ 1843 году. Майеръ и Джоуль, какъ удачно выразился Тиндалль, составляютъ двойную звѣзду на небосклонѣ мiра, науки блескъ одной звѣзды усиливаетъ сiянiе другой. Джоуль такъ поставилъ опытъ, что можно было одновременно измѣрять какъ количество затрачиваемой работы при тренiи тѣлъ другъ о друга, такъ и количество теплоты, выдѣляющейся при этомъ процессѣ. Падающiй грузъ заставлялъ вращаться въ сосудѣ съ водой (въ водяномъ калориметрѣ) ось, снабженную лопатками. Затрачиваемая работа измѣряется при этомъ произведенiемъ изъ высоты паденiя на вѣсъ груза, а количество выдѣляющейся теплоты можно опредѣлить, наблюдая повышенiе температуры воды въ калориметрѣ. Впослѣдствiи Джоуль не разъ повторялъ тотъ же опытъ, мѣняя условiя: такъ, онъ наполнялъ калориметръ спермацетовымъ масломъ или ртутью и заставлялъ вращаться въ жидкости и тереться другъ о друга двѣ пластинки литого желѣза и т. п. При всѣхъ опытахъ оказывалось, что количество



555. Опытъ Гэй-Люссака.

получаемой теплоты пропорціонально затрачиваемой работѣ. Джоуль не ограничился только опредѣленіемъ количества теплоты, выдѣляющейся при треніи, а дѣлалъ подобныя же наблюденія и при другихъ физическихъ процессахъ.

Газъ, расширяясь, замѣтно охлаждается, при сжатіи обратно происходитъ выдѣленіе тепла. Помѣщая подъ колоколъ воздушнаго насоса термометръ Брегета, мы обнаружимъ паденіе температуры при быстромъ разрѣжен. воздуха, причемъ внутренняя поверхность колокола обыкновенно тускнѣетъ, такъ какъ находящійся въ воздухѣ водяной паръ переходитъ въ жидкость. Когда, открывая кранъ, снова впустимъ воздухъ подъ колоколъ, температура опять повысится.

На свойствѣ воздуха нагрѣваться при сжатіи основано устройство такъ называемаго пневматическаго огнива. Приборъ этотъ состоитъ изъ толстостѣннаго стекляннаго цилиндра *G*, нижній конецъ котораго вставленъ въ металлическую оправу (рис. 554). Въ цилиндрѣ плотно ходитъ поршень *K*, такъ чтобы не было доступа внѣшнему воздуху; подъ поршнемъ помѣщается какое нибудь легко воспламеняющееся вещество. Если поршень съ силой быстро вдвинуть въ цилиндръ, то температура воздуха настолько повысится, что горючее вещество воспламенится.

Когда газъ будетъ поступать въ абсолютно пустое пространство, то при этомъ переходѣ температура его не измѣняется. Для поясненія этого Гей-Люссакъ придумалъ опытъ, который былъ впослѣдствіи повторенъ Джоулемъ. Если изъ сосуда *A* (рис. 555), гдѣ находится сжатый воздухъ станемъ послѣдній впускать въ сосудъ *B*, изъ котораго воздухъ выкаченъ, то насколько температура въ первомъ понизится, настолько она во второмъ повысится. Если оба сосуда опустимъ въ калориметръ, то температура воды ни повысится, ни понизится, значитъ и температура воздуха останется въ концѣ концовъ той же, что была раньше. Измѣненіе температуры происходитъ только тогда, когда газъ, расширясь, преодолѣваетъ давленіе.

Джоуль, сравнивая количество теплоты, выдѣляющейся при сжатіи газа, съ величиной затрачиваемой при этомъ работы, а также потерю теплоты съ работой расширенія газа, установилъ постоянное количественное соотношеніе между этими физическими величинами. Далѣе онъ замѣтилъ, что во всѣхъ магнито-электрическихъ процессахъ количество выдѣляющейся теплоты строго пропорціонально уменьшенію энергіи системы. То же самое было подтверждено затѣмъ опытами другихъ ученыхъ, какъ-то: Б. Гирна въ Логельбахѣ (въ Эльзасѣ), Купфера въ Петербургѣ. Всегда между затратой механической энергіи и пріобрѣтенной за счетъ ея теплотой наблюдалось то же постоянное соотношеніе, изъ чего слѣдуетъ заключить, что теплота также представляетъ одинъ изъ видовъ энергіи. Работу, эквивалентную одной тепловой единицѣ, называютъ механическимъ эквивалентомъ теплоты. По новѣйшимъ опредѣленіямъ, величина механическаго эквивалента теплоты, соотвѣтствующая одной большой калоріи, опредѣлена въ 425 килограммометровъ, т.-е. равна работѣ поднятія массы одного килограмма на высоту 425 метровъ. Относя механическій эквивалентъ теплоты къ малой калоріи (количеству теплоты, способной повысить температуру 1 грамма дистиллированной воды отъ 0 до 1° С.), мы должны приравнять его 0,425 килограммометра или 42 500 граммъ-сантиметрамъ.

Опредѣленіе механическаго эквивалента теплоты вычисленіемъ (способъ Роберта Майера). Въ своемъ знаменитомъ сочиненіи Робертъ Майеръ даетъ слѣдующій весьма простой и очень остроумный способъ нахожденія величины механическаго эквивалента. Какъ было уже замѣчено, удѣльная теплота атмосфернаго воздуха при постоянномъ давленіи = 0,237. Вѣсъ кубическаго сантиметра воздуха при 0° С. и нор-

мальномъ давленіи 76 см. = 0,001293 гр. Значитъ, количество теплоты, потребной для нагрѣванія одного куб. см. воздуха при постоянномъ давленіи отъ 0° до 1° С., окажется равнымъ количеству теплоты, потребной для нагрѣванія 0,001293. 0,237 = 0,0003064 гр. воды въ тѣхъ же предѣлахъ измѣненія температуры. Расширяясь при нагрѣваніи отъ 0° до 1° С., воздухъ увеличивается въ объемѣ на $\frac{1}{273}$ его первоначальной величины при нулѣ градусовъ; при этомъ онъ совершаетъ работу, равную поднятію ртутной колонны высотой въ 76 см. и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. см. Такъ какъ вѣсъ такой колонны = 1033 гр., то величина упомянутой работы выразится $\frac{1033}{273}$ = 3,783883 гр.-см. Отношеніе же между удѣльной теплотой воздуха при постоянномъ давленіи и при постоянномъ объемѣ = 1,41. Слѣдовательно, количество теплоты, нужное для нагрѣванія на 1° С. одного куб. см. воздуха при постоянномъ объемѣ $= \frac{0,0003064}{1,41} =$ 0,0002173 мал. калоріямъ. Разность между этимъ и ранѣе найденнымъ количествомъ теплоты 0,0003064 — 0,0002173 = 0,0000891 очевидно должна означать теплоту, идущую на производство работы 3,783883 граммсантиметра. Пользуясь этими данными, найдемъ что одна малая калорія эквивалента $\frac{3,783883}{0,0000891} =$ 42 468 граммсантиметрамъ или 0,42468 килограммометрамъ работы. Найденная Майеромъ величина[1] вполнѣ согласуется съ той, которую Джоуль опредѣлилъ опытнымъ путемъ.

Скрытая теплота. До сихъ поръ мы говорили исключительно о томъ, какъ измѣняются размѣры (объемъ или длина) жидкихъ, твердыхъ и газообразныхъ тѣлъ, при измѣненіи ихъ теплового состоянія, но кромѣ этого дѣйствіе теплоты можетъ вызвать даже измѣненіе физическаго состоянія тѣла или въ значительной степени способствовать переходу тѣла изъ одного состоянія въ другое. Большинство твердыхъ тѣлъ при достаточномъ нагрѣванія *разжижается и при дальнѣйшемъ повышеніи температуры переходитъ* въ газообразное состояніе. Если мы подвергнемъ нагрѣванію кусокъ льда при температурѣ — 5°С., то вначалѣ обнаружимъ постепенное повышеніе температуры до 0°С., когда ледъ начнетъ таять. Послѣ этого, хотя притокъ теплоты не прекращается, температура 0°С. будетъ удерживаться постоянной все время, пока ледъ таетъ; затѣмъ термометръ опять начнетъ подниматься по мѣрѣ нагрѣванія образовавшейся изо льда воды, и такъ дѣло будетъ итти до тѣхъ поръ, пока она не начнетъ кипѣть. Дальнѣйшее нагрѣваніе вызоветъ выдѣленіе пузырьковъ пара во всей массѣ жидкости, наконецъ приведетъ ее въ бурное кипѣніе, между тѣмъ какъ ртуть термометра будетъ все время стоять противъ прежняго уровня, пока вся вода не выкипитъ. Во все время хода того и другого процесса (таянія льда и кипѣнія воды), сообщаемая вновь теплота, повидимому, исчезаетъ безслѣдно; *въ дѣйствительности же она цѣликомъ идетъ на превращеніе одного состоянія* тѣла въ другое. То же самое наблюдается и относительно другихъ тѣлъ, какъ-то ртути, цинка, сѣры, фосфора и др., которыя при нагрѣваніи претерпѣваютъ аналогичныя измѣненія. Поглощаемая при этихъ процессахъ теплота называется скрытой теплотой, такъ какъ явно термометръ не обнаруживаетъ притока тепла. А что въ дѣйствительности въ этихъ процессахъ поглощается теплота, обнаруживается только при обратныхъ процессахъ: при сгущеніи паровъ въ жидкость и при обращеніи жидкости въ твердое состояніе. Число малыхъ калорій, потребное для того, чтобы рас-

---

[1] *Надо замѣтить, что первоначально Майеръ, вычисливъ эквивалентъ, получилъ* для него величину 0,367 килограммометровъ, такъ какъ ошибочно принялъ теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи = 0,267.

плавить одинъ граммъ твердаго вещества—называютъ **скрытой теплотой плавленія** даннаго вещества, а количество теплоты (въ м. колоріяхъ), необходимое для обращенія той же массы жидкости (1 гр.) въ паръ,—**скрытой теплотой кипѣнія** жидкости. Скрытая теплота плавленія льда, какъ мы уже упоминали, равняется 80 мал. калоріямъ; таково количество теплоты, поглощаемой при обращеніи одного грамма льда при 0° С. въ воду при 0° С. Для подтвержденія этого Блекъ поступалъ слѣдующимъ образомъ: онъ наливалъ въ сосудъ, содержащій 1 кгр. снѣга при 0° С. и 1 кгр. воды, нагрѣтой до 80° С. По прошествіи нѣкотораго времени, когда весь снѣгъ растаялъ, температура жидкости оказалась равной 0° С. Опредѣленіе скрытой теплоты плавленія и кипѣнія различныхъ тѣлъ по способу смѣшенія дало слѣдующіе результаты. Скрытая теплота плавленія ртути — 2,8; свинца — 6,0; олова — 13; серебра — 21; платины — 27; цинка — 28. Скрытая теплота водяного пара 536, т.-е. это значитъ, что 1 граммъ воды при 100° С., обращаясь въ паръ, поглощаетъ 536 малыхъ калорій.

Тѣла, различныя по своей физической природѣ, плавятся при различныхъ температурахъ, но даже и для одного и того же тѣла температура плавленія не остается постоянной, когда тѣло подвергается перемѣнному давленію: для тѣхъ тѣлъ, которыя при переходѣ въ твердое состояніе уменьшаются въ объемѣ, точка плавленія повышается съ давленіемъ; для тѣхъ же тѣлъ, объемъ которыхъ въ твердомъ состояніи больше, понижается. Точка плавленія олова лежитъ на 232° С., висмута на 267, кадмія на 320, свинца на 328, алюминія на 620, серебра на 950, золота на 1070, мѣди на 1080, палладія на 1500, платины на 1800. Замѣчательно, что температура плавленія нѣкоторыхъ сплавовъ часто бываетъ значительно ниже температуры плавленія наиболѣе легкоплавкаго изъ веществъ, образующихъ соединеніе. Напримѣръ, такъ называемый металлъ Розе (2 части висмута, 1 часть свинца и 1 часть олова) плавится при 95° С.; металлъ Вуда (1 часть кадмія, 1 часть олова, 2 части свинца и 4 части висмута) плавится при 68° С.



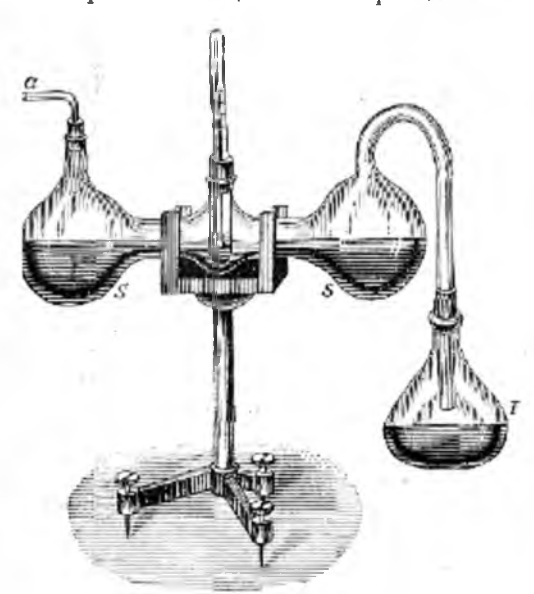
556. Термометръ Августа.

Температуры плавленія металловъ и ихъ сплавовъ могутъ служить постоянными точками пирометрическихъ шкалъ; такъ например на нѣмецкомъ металлургическомъ заводѣ (бывшій Рёсслера) въ Франкфуртѣ-на-Майнѣ изготовляются металлическіе пирометры, представляющіе нѣсколько серій тонкихъ полосокъ чистыхъ металловъ и сплавовъ съ различнымъ процентнымъ содержаніемъ составныхъ веществъ; сюда входятъ сплавы серебра и мѣди (для температуръ отъ 820—900), сплавъ серебра и золота (темп. плавл. 1020°), сплавы золота и платины (для температуръ отъ 1100—1730° С.); различныя составныя части берутся въ такихъ пропорціяхъ, чтобы можно было опредѣлять температуру въ предѣлахъ каждыхъ 30-ти градусовъ.

Переохлажденіе. При извѣстныхъ обстоятельствахъ оказывается возможнымъ довести воду до температуры, лежащей значительно ниже точки замерзанія, не вызывая образованія льда. Подобное явленіе можно наблюдать при помощи термометра Августа. Термометрическая трубка *T* впаяна въ стеклянный сосудъ *A* (рис. 556), наполненный водой. Охлаждая осторожно воду, мы можемъ наблюдать постепенное паденіе ртути до — 10° С., не замѣчая образованія льда; но стоитъ только слегка встряхнуть сосудъ, чтобы вся вода тотчасъ обратилась въ ледъ; выдѣляющаяся при этомъ скрытая теплота повыситъ температуру до 0° С.

Связь между частичнымъ вѣсомъ и пониженіемъ точки замерзанія. Законъ Рауля. Въ послѣднее время для химической прак-

тики большое значеніе получило изслѣдованіе условій замерзанія различныхъ растворовъ. Оказывается, можно понизить температуру плавленія жидкости, растворяя въ ней инородное вещество; пониженіе температуры пропорціонально количеству растворяемаго вещества и обратно пропорціонально количеству растворителя, если только концентрація раствора не очень велика. Называютъ **удѣльнымъ** или **приведеннымъ пониженіемъ точки замерзанія раствора** то пониженіе температуры замерзанія, которое наблюдается при раствореніи 1 гр. вещества въ 100 граммахъ растворителя. Относительно этого явленія Рауль высказалъ слѣдующее положеніе. Удѣльное пониженіе точки замерзанія отъ прибавки къ растворителю инороднаго *вещества обратно пропорціонально частичному вѣсу послѣдняго, или иначе:* для одного и того же растворителя произведеніе изъ частичнаго вѣса M растворяемаго вещества к приведеннаго пониженія температуры замерзанія c равно нѣкоторой постоянной величинѣ C, не зависящей отъ природы растворяемаго вещества, т.-е. Mc = Const. Основываясь на этомъ законѣ, можно опредѣлить частичный вѣсъ изслѣдуемаго вещества, зная соотвѣтствующее ему удѣльное пониженіе температуры плавленія раствора. Такъ для уксусной кислоты (растворителя) $C = 39$; *для бензола* 49; *для* нафталина 92. Стало быть, чтобы найти частичный вѣсъ нѣкотораго вещества, растворимаго, положимъ, въ углекислотѣ, нужно, найдя соотвѣтствующее удѣльное пониженіе температуры плавленія, раздѣлить на эту величину 39.



557. Аппаратъ для охлажденія воды.

Явленія, сопровождающія переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое. На явленіи выдѣленія или поглощенія тепла при переходѣ *тѣлъ изъ одного состоянія въ другое, основано много интересныхъ опы*товъ. Мы можемъ значительно охладить воду, растворяя въ ней селитру или нашатырь: въ разсматриваемомъ случаѣ теплота, необходимая для разжиженія упомянутыхъ веществъ, отнимается у самого растворителя (воды), вслѣдствіе чего послѣдній охлаждается. Температура такихъ **охладительныхъ смѣсей** колеблется отъ — 5 до — 10° С. Еще большаго охлажденія можно достигнуть, смѣшивая куски толченаго льда съ поваренной солью, такъ какъ здѣсь оба тѣла измѣняютъ свое состояніе, образуя жидкій растворъ: явленіе сопровождается большимъ поглощеніемъ тепла. Смѣшивая 100 вѣсовыхъ частей толченаго льда съ 33-мя вѣсовыми частями поваренной соли, достигаемъ пониженія температуры до —21° С., замѣняя соль хлористымъ кальціемъ (въ той же пропорціи), получимъ охладительную смѣсь еще болѣе низкой температуры, до — 50° С. Летучія вещества, т.-е. вещества, быстро переходящія въ *парообразное состояніе, также могутъ вызвать охлажденіе* окружающихъ предметовъ, заимствуя у нихъ теплоту, идущую на поддержаніе процесса парообразованія. Ставя сосудъ съ водой подъ колоколъ воздушнаго насоса, гдѣ долженъ находиться также стаканчикъ съ сѣрной кислотой, мы легко заморозимъ воду, если станемъ выкачивать воздухъ изъ-подъ коло-

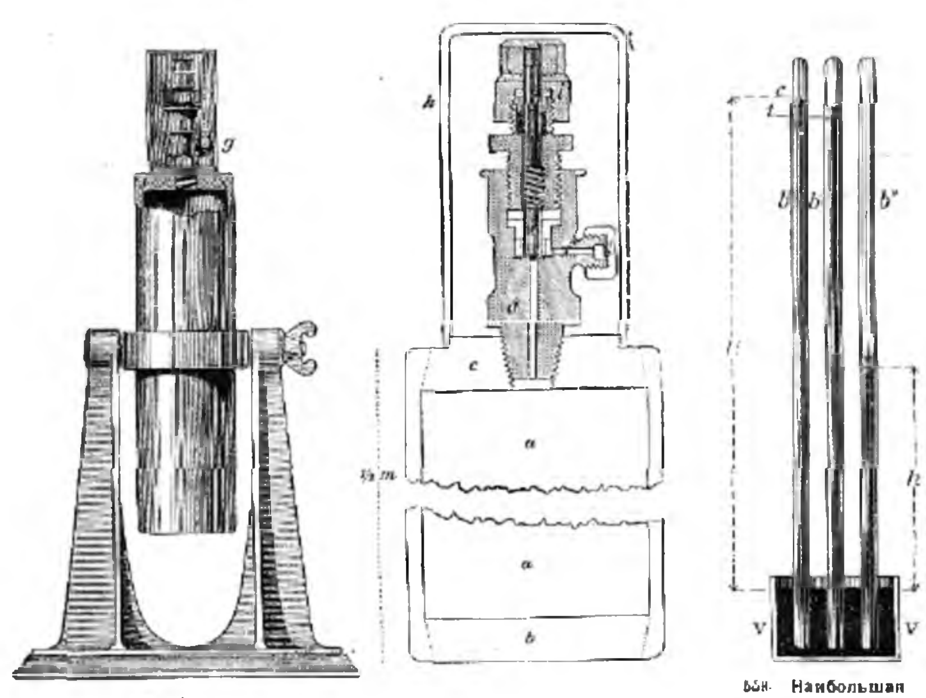
кола; впитывая въ себя влагу, сѣрная кислота вызываетъ обильное выдѣленіе пара съ поверхности воды въ сосудѣ, вслѣдствіе чего температура послѣдней быстро понижается. Опытъ можно воспроизвести при помощи прибора, изображеннаго на рисункѣ. Налитая во флаконъ *F* вода замерзаетъ, какъ скоро мы соединимъ приборъ съ помощью стеклянной трубочки *a* съ воздушнымъ насосомъ и станемъ выкачивать воздухъ. Сосудъ *SS* заполненъ сѣрной кислотой, впитывающей водяные пары. На томъ же началѣ основано устройство машинъ искусственнаго приготовленія льда. Первоначально нагрѣваніемъ вызываютъ испареніе раствора амміака или сѣрнистой кислоты или же смѣси углекислоты съ сѣрнистой кислотой, а затѣмъ поддерживаютъ испареніе, удаляя продукты выдѣленія выкачивающими насосами.

Выходя изъ ванны, мы ощущаемъ холодъ, такъ какъ приставшая вода, испаряясь, отнимаетъ отъ кожи теплоту. По той же причинѣ мы почувствуемъ холодъ, обливая руку спиртомъ. Въ сильную жару полы жилыхъ помѣщеній поливаютъ водой, также съ цѣлью сдѣлать неощутимымъ притокъ теплоты, исчезающей незамѣтно при образованіи водяныхъ паровъ. Обратно, происходитъ выдѣленіе скрытой теплоты, когда паръ, находящійся въ воздухѣ, сгущается въ дождевыя капли, когда тучи, заволакивающія небосклонъ, въ формѣ снѣжныхъ хлопьевъ и градинъ спускаются на землю.

Что одного испаренія воды вполнѣ достаточно для того, чтобы послѣдняя обратилась въ ледъ, можно показать на опытѣ съ такъ называемымъ кріофоромъ: два стеклянныхъ шарика, одинъ изъ которыхъ наполненъ до половины дистиллированной водой, соединены между собою посредствомъ согнутой дважды подъ прямымъ угломъ стеклянной трубочки. Приборъ еще до наблюденія наполняется водой такимъ же точно способомъ, какъ производится наполненіе ртутью термометрическаго сосуда, для чего одинъ изъ шариковъ оттянутъ на концѣ въ формѣ волосной трубки; послѣ наполненія прибора воду еще разъ кипятятъ, чтобы выгнать совершенно воздухъ, и затѣмъ оттянутый кончикъ запаиваютъ, такъ что внутренность прибора заполнена только водой въ одномъ шарикѣ и водянымъ паромъ. Погрузимъ пустой шарикъ (конденсаторъ) въ охладительную смѣсь; содержащіеся здѣсь водяные пары, охлаждаясь, сгущаются и образуютъ воду; теперь поверхность жидкости въ первомъ сосудѣ можетъ выдѣлить новое количество паровъ, снова сгущающихся въ конденсаторѣ и т. д. Вслѣдствіе продолжительнаго выдѣленія пара температура въ сосудѣ понижается настолько, что оставшаяся на донышкѣ вода наконецъ замерзаетъ. Другой примѣръ значительной потери теплоты при измѣненіи физическаго состоянія тѣла обнаруживается при пользованіи жидкой углекислотой. Углекислый газъ, обращенный сильнымъ давленіемъ въ жидкость, сохраняется въ такомъ состояніи въ крѣпкихъ баллонахъ изъ кованаго желѣза такого типа, какой изображенъ на рисункѣ 558; пользованіе имъ въ такой формѣ получило теперь широкое распространеніе въ техникѣ. Какъ только откроемъ кранъ *g*, закрывающій баллонъ, сжатая подъ сильнымъ давленіемъ жидкость (давленіе это при комнатной температурѣ достигаетъ 50-ти атмосферъ) съ шипѣніемъ и свистомъ стремительно выбрасывается наружу; часть ея испаряется и другая часть испытываетъ при этомъ столь сильное охлажденіе, что падаетъ внизъ бѣлоснѣжными хлопьями — это замерзшая угольная кислота; подвергая ее сильному давленію, можно образовать сплошную твердую массу. Смѣшивая твердую углекислоту съ охлажденнымъ алкоголемъ или эѳиромъ, удается вызвать пониженіе температуры до — 80° С. и такую низкую температуру можно поддерживать довольно долгое время неизмѣнной. Дѣйствіемъ названной охладительной смѣси замораживаютъ ртуть въ весьма большихъ количествахъ; металлъ отвердѣваетъ настолько, что допускаетъ обработку на наковальнѣ.

Несмотря на низкую температуру твердой углекислоты, ее можно брать

въ руки, не боясь отморозить пальцы, не слѣдуетъ только сдавливать въ рукѣ твердую массу; явленіе это находитъ для себя объясненіе въ интенсивномъ испареніи углекислоты; слой выдѣляющихся съ поверхности паровъ образуетъ какъ бы предохранительный поясъ, защищающій кожу отъ обжога. Подобнаго же характера явленіе обнаруживается тогда, когда небольшое количество воды выльемъ на раскаленную до-бѣла желѣзную плиту; вода не обращается тотчасъ въ паръ, а бѣгаетъ въ формѣ жидкихъ капелекъ, не касаясь вплотную поверхности плиты. Здѣсь выдѣляющіеся съ поверхности капли водяные пары обволакиваютъ ее такимъ же предохранительнымъ поясомъ. (Описанное явленіе, по имени открывшаго его, называется **Лейденфростовымъ явленіемъ**.)



558. Стальной сосудъ для жидкой углекислоты.

559. Наибольшая упругость паровъ.

Пары, насыщающіе пространство. Представимъ себѣ три Торричелліевы трубки b, b', b'', наполненныя сухой прокипяченной ртутью, вполнѣ чистой; открытымъ концомъ всѣ три трубки погружены въ широкій сосудъ со ртутью. Въ Торричелліеву пустоту надъ ртутью въ трубкахъ b' и b'' помощью изогнутой пипетки впускаютъ соотвѣтственно небольшое количество воды и сѣрнаго эѳира (рис. 559); испаряясь въ пустотѣ, пары жидкостей быстро заполняютъ все Торричелліево пространство и понижаютъ уровень ртути. Въ той трубкѣ, куда впускается вода, пониженіе уровня достигаетъ приблизительно 17 мм., эѳирные же пары понижаютъ уровень на 433 мм. при комнатной температурѣ 20° C. Пониженіе уровня ртути вызвано всецѣло упругостью паровъ, такъ какъ давленіе небольшихъ столбиковъ не испарившейся жидкости, очевидно, не оказываетъ замѣтнаго вліянія. Такимъ образомъ по величинѣ паденія уровня ртути мы можемъ прямо судить объ упругости паровъ изслѣдуемыхъ жидкостей. Всякій паръ, подобно газу, стремится, расширяясь, занять возможно большій объемъ; самое малое количество пара, входя въ пустое пространство, расширяясь, заполняетъ его цѣ-

ликомъ и давитъ съ большей или меньшей силой на окружающія его стѣнки; едва замѣтной капли воды вполнѣ достаточно для заполненія пространства нѣсколькихъ тысячъ кубическихъ метровъ водянымъ паромъ при испареніи жидкости; это свойство вполнѣ аналогично съ тѣмъ свойствомъ, какое мы приписываемъ атмосферному воздуху. Однако несмотря на безграничное стремленіе расширяться, упругость пара при сжатіи подъ извѣстнымъ высокимъ давленіемъ не превосходитъ извѣстнаго опредѣленнаго предѣла. Это свойство встарину считалось отличительнымъ свойствомъ между парами и такъ называемыми постоянными газами, упругость которыхъ при какомъ бы то ни было высокомъ давленіи, какъ полагали ранѣе, увеличивается всегда пропорціонально уменьшенію объема. Въ настоящее же время это различіе только степенное, такъ какъ существованіе постоянныхъ газовъ только мыслимо, въ дѣйствительности же всѣ газы представляютъ изъ себя не что иное какъ пары, далекіе отъ состоянія обращенія въ жидкость. Итакъ, всякій паръ обладаетъ извѣстной максимальной упругостью. На опытѣ это можно обнаружить слѣдующимъ образомъ. Трубку b'' съ парами жидкости надъ ртутью опустимъ въ глубокій сосудъ, также заполненный ртутью. Погрузимъ ее теперь во ртуть значительно ниже прежняго уровня, часть паровъ при этомъ сгустится, столбъ жидкости (эѳира) увеличится, но высота ртутной колонны h надъ поверхностью ртути въ сосудѣ не измѣнится. Упругость пара, равно какъ и плотность его, остается постоянной. Слѣдовательно пространство надъ жидкостью въ барометрической трубкѣ оказывается заполненнымъ паромъ той же упругости и плотности, если температура остается неизмѣнной. Кромѣ того все это справедливо только тогда, если, какъ говорятъ, паръ насыщаетъ пространство, т.-е. въ барометрической трубкѣ надъ ртутью находится еще хотя самое ничтожное количество изслѣдуемой жидкости. Поднимая трубку медленно вверхъ и увеличивая такимъ образомъ пространство, заполненное парами жидкости, мы замѣтимъ постепенное уменьшеніе жидкаго столбика. Вслѣдъ затѣмъ, какъ испарится послѣдняя капля жидкости, мы обнаружимъ уменьшеніе давленія паровъ при дальнѣйшемъ увеличеніи объема Торричелліева пространства. Соотвѣтственное измѣненіе упругости пара совершается въ томъ порядкѣ, какъ этого требуетъ законъ Маріотта. Паръ, слѣдующій законамъ Маріотта и Гей-Люссака, называютъ перегрѣтымъ паромъ, не насыщающимъ пространства. Упругость его всегда меньше упругости пара, насыщающаго пространство при той же температурѣ. Когда упругость пара становится равной максимальному давленію, при которомъ паръ еще не обращается въ жидкость, то, какъ говорятъ, паръ насыщаетъ пространство, и паръ въ такомъ состояніи называютъ иногда насыщеннымъ паромъ, а соотвѣтственное давленіе — давленіемъ пара, насыщающаго пространство при данной температурѣ. Для данной температуры, независимо отъ занимаемаго имъ объема, насыщенный паръ обладаетъ всегда одной и той же максимальной упругостью. При измѣненіи температуры давленіе паровъ, насыщающихъ пространство, не остается прежнимъ, а растетъ вмѣстѣ съ повышеніемъ температуры. Далѣе оно находится въ зависимости отъ природы изслѣдуемаго вещества; чѣмъ болѣе летуче вещество, тѣмъ упругость его паровъ при состояніи насыщенія больше.

Многіе естествоиспытатели, напр. Джемсъ Ваттъ, а главнымъ образомъ Г. Магнусъ и Ф. Реньо пытались найти формулу, выражающую давленіе насыщеннаго пара въ видѣ функція температуры, однако до настоящаго времени не удалось подмѣтить какой-нибудь простой зависимости, легко выражаемой аналитически. Лучше всего пользоваться эмпирическими таблицами, въ родѣ тѣхъ, какія составилъ Реньо для упругости водяного пара, насыщающаго пространство при какой-нибудь опредѣленной температурѣ.

Далѣе приводится таблица давленій (въ мм. ртутной колонны) насыщенныхъ паровъ воды, эѳира и этиловаго спирта для различныхъ температуръ:

Температура	Вода	Этиловый спиртъ	Этиловый эѳиръ
0	4,56	12,5	185
20	17,4	44,1	440
40	54,9	133,6	910
60	148,9	351	1730
80	355,4	812	3000
100	760	1690	4900
120	1490		
140	2730		
160	4650		
180	7550		
200	11700		

Способы пользованія упругостью пара для производства механической работы и описаніе устройства паровыхъ и другихъ тепловыхъ машинъ будутъ своевременно указаны въ другомъ мѣстѣ.

Мы намѣрены въ концѣ отдѣла коснуться еще одной задачи, относящейся къ калориметріи — именно опредѣленія теплоты соединеній.

Кислородъ и водородъ, находясь одинъ въ присутствіи другого, обладаютъ потенціальной энергіей, преобразующейся въ тепловую при соединеніи упомянутыхъ газовъ, когда происходитъ процессъ сгоранія (водорода въ кислородѣ). Вопросъ состоитъ въ томъ, какъ велико количество теплоты, выдѣляемой при этомъ процессѣ.

Теплотой соединенія называютъ вообще количество теплоты, выдѣляемой при соединеніи двухъ разнородныхъ химическихъ веществъ; оно равно тому количеству теплоты, которое потребно для разложенія получаемаго такимъ образомъ сложнаго соединенія на составныя части. Выдѣляемая теплота можетъ частью преобразовываться въ другую форму энергіи, напр. въ форму электрической энергіи, равно какъ и разложеніе сложнаго вещества можетъ быть вызвано дѣйствіемъ электричества.

Теплотой горѣнія называютъ количество теплоты, выдѣляемой при окисленіи единицы массы даннаго тѣла. Теплота горѣнія водорода равняется 34 444 малымъ единицамъ количества теплоты; иначе, при сгораніи одного грамма водорода выдѣляется 34 444 малыхъ калорій.

Теплотой образованія называется количество единицъ (мал. калорій) теплоты, выдѣляемой или поглащаемой при такой химической реакціи, когда число вѣсовыхъ единицъ (въ граммахъ) веществъ, вступающихъ въ соединеніе, равно ихъ атомнымъ вѣсамъ.

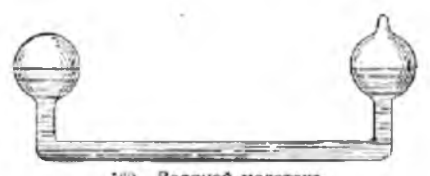
2 грамма водорода, сгорая въ 16 гр. кислорода, сообщаютъ образовавшейся при реакціи водѣ 68 888 мал. калорій теплоты. Теплота горѣнія различныхъ соединеній была опредѣлена калориметрическимъ путемъ Фавромъ и Зильберманомъ, Эндріусомъ, Бертело и др. Наибольшее повышеніе температуры наблюдается при образованіи воды изъ гремучаго газа.

О кипѣніи. *Когда жидкость нагрѣта до такой температуры, что* давленіе паровъ ея въ состояніи насыщенія при этой температурѣ равно атмосферному, она начинаетъ кипѣть, т.-е. вся масса ея выдѣляетъ изъ себя пары, которые поднимаются пузырьками вверхъ. Соотвѣтствующая температура носитъ названіе температуры или точки кипѣнія. Говоря о кипѣніи воды, мы уже указывали, что подъ температурой кипѣнія, измѣняющейся съ давленіемъ, слѣдуетъ понимать температуру кипѣнія, приведенную къ нормальному давленію въ 76 см. На приборѣ, называемомъ водянымъ молотомъ, можно наблюдать кипѣніе жидкости только вслѣдствіе прикосновенія

руки; приборъ состоитъ изъ трубки съ двумя шариками (рис. 560), наполненной до половины прокипяченной водой или спиртомъ, надъ жидкостью Торричеллiева пустота. Подъ колоколомъ воздушнаго насоса при давленiи въ 4,5 мм. вода закипаетъ даже при 0° С. На С.-Готардѣ (высота 2175 м.) она кипитъ при 92,9° С., на Монбланѣ (высота 4810 м.) при 84° С.

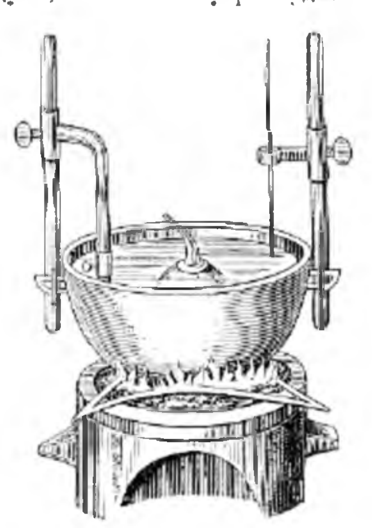
Различныя по физической природѣ вещества имѣютъ различныя температуры кипѣнiя: спиртъ кипитъ при 78,3° С., эфиръ при 34,9° С., ртуть при 357° С.

Давленiе насыщенныхъ паровъ раствора солей ниже соотвѣтствующаго давленiя водяного пара, поэтому температура кипѣнiя ихъ лежитъ значительно выше. Такъ, насыщенный растворъ поваренной соли кипитъ при 108° С.


560. Водяной молотокъ.

Плотностью пара называютъ отношенiе его вѣса къ вѣсу воздуха при одинаковыхъ объемѣ, давленiи и одной и той же температурѣ.

Дюма предложилъ слѣдующiй способъ опредѣленiя плотности пара. Нѣсколько граммовъ изслѣдуемаго вещества (жидкости) наливаютъ въ стеклянный баллонъ, съ узкой оттянутой на концѣ трубочкой. Затѣмъ помѣщаютъ его въ водяную ванну, температура которой приблизительно на 20° выше температуры кипѣнiя изслѣдуемаго вещества (рис. 561). Когда выдѣляющiеся пары выгонятъ изъ баллона весь воздухъ, такъ что внутри будетъ находится только насыщенный паръ, который при дальнѣйшемъ нагрѣванiи становится перегрѣтымъ, оттянутый кончикъ баллона запаиваютъ, наблюдая при этомъ барометрическую высоту и температуру ванны t. Зная вѣсъ пара, равно какъ и вѣсъ воздуха въ томъ же объемѣ, приведенный къ нормальнымъ условiямъ давленiя и температуры, найдемъ плотность пара относительно воздуха. Взвѣшивая тотъ же баллонъ, когда онъ наполненъ водой или ртутью, найдемъ его объемъ, а тогда будемъ знать и плотность пара относительно воды.

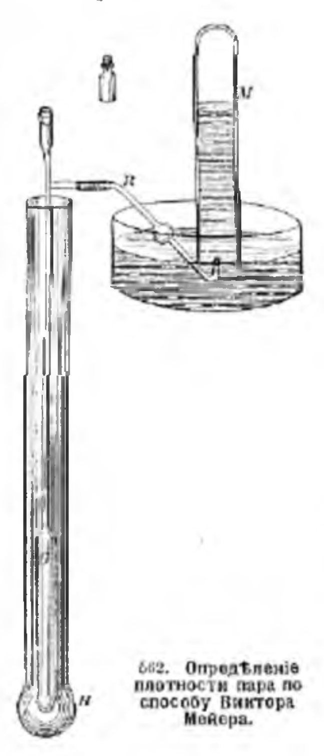

561. *Способъ Дюма для опредѣленiя плотности пара.*

По способу **Виктора Мейера**, употребляемаго за послѣднее время преимущественно передъ другими, для опредѣленiя плотности пара находятъ объемъ опредѣленнаго вѣсового количества изслѣдуемаго вещества по объему вытѣсненнаго воздуха. Для этого продолговатый стеклянный или фарфоровый сосудъ G (рис. 562), съ подымающейся вверхъ довольно широкой трубкой и тоненькой выводной трубочкой R помѣщаютъ въ паровую или воздушную ванну съ постоянной температурой T, которая должна быть значительно выше температуры кипѣнiя изслѣдуемаго вещества. Когда изъ трубки, при погруженiи ея открытымъ концомъ въ воду, не будетъ болѣе выдѣляться пузырьковъ, это будетъ служить признакомъ того, что ванна H прiобрѣла постоянную температуру. Тогда конецъ выводной трубки R покрываютъ сверху широкой колоколообразной градуированной трубкой M, также заполненной водой. Вмѣстѣ съ тѣмъ, открывъ на короткое время верхнюю воронку, бросаютъ въ сосудъ G капсюльку g съ опредѣленнымъ заранѣе вѣсовымъ количествомъ вещества, плотность паровъ котораго хотятъ опредѣлить; все содержимое капсюльки почти тотчасъ обращается въ перегрѣтый паръ; послѣднiй выго-

нить изъ сосуда G равное по объему количество воздуха, который и соберется надъ водой въ колоколѣ M; если объемъ этотъ равенъ v куб. см., масса изслѣдуемаго вещества m граммовъ, t температура воздуха, p давленіе (въ мм. ртутной колонны), подъ которымъ онъ находится, приведенное къ 0° С., то искомая плотность выразится слѣдующимъ образомъ $d = \frac{m}{v} \cdot \frac{760}{p} \cdot \frac{1 + 0{,}003\,t}{0{,}001293}$.

Плотность и частичный вѣсъ. Опредѣленіе плотности вещества въ парообразномъ состояніи имѣетъ громадное значеніе для физики и химіи, такъ какъ даетъ въ руки средство найти его частичный вѣсъ. По закону Авогадро одинаковые объемы различныхъ газовъ при одномъ и томъ же давленіи и температурѣ заключаютъ въ себѣ одинаковое число частицъ. Если обозначимъ это число буквою N; кромѣ того M_1, M_2, M_3 ... означаютъ, положимъ, соотвѣтственно частичные вѣса изслѣдуемыхъ газовъ, v — объемъ ихъ, а d_1, d_2, d_3 ... соотвѣтствующія плотности, то очевидно:

$$\frac{NM_1}{v} : \frac{NM_2}{v} : \frac{NM_3}{v} : \ldots = d_1 : d_2 : d_3 : \ldots$$



562. Опредѣленіе плотности пара по способу Виктора Мейера.

т.-е. частичный вѣсъ пропорціоналенъ плотности вещества въ парообразномъ состояніи. Согласились вѣсъ частицы водорода, плотность котораго относительно воздуха 0,06925, принять равнымъ 2. Откуда частичный вѣсъ M вещества черезъ его плотность по отношенію къ воздуху выразится слѣдующимъ образомъ:

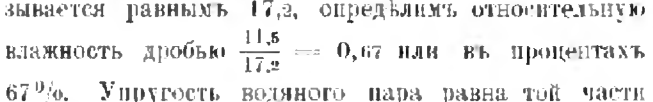
$$M : 2 = d : 0{,}06925 \text{ или } M = \frac{2}{0{,}06925}\, d = 28{,}88\, d,$$

т.-е. для нахожденія частичнаго вѣса вещества слѣдуетъ только плотность его въ парообразномъ состояніи умножить на 28,88.

Содержаніе водяного пара въ атмосферномъ воздухѣ. Такъ какъ атмосферный воздухъ находится въ соприкосновеніи съ громадной поверхностью водного пространства морей и рѣкъ, то онъ всегда содержитъ большее или меньшее количество водяного пара, но вполнѣ имъ никогда не насыщается. Этотъ паръ совершенно безцвѣтенъ, такъ что для глаза присутствіе его въ атмосферѣ незамѣтно. Его не слѣдуетъ смѣшивать съ туманомъ, представляющимъ изъ себя собраніе мельчайшихъ частицъ воды, носящихся въ воздухѣ и образующихъ облака. При выпускѣ пара изъ парового котла, мы можемъ подмѣтить только бѣлые клубы сгустившейся воды, такъ на разстояніи одного сантиметра отъ края трубки; въ непосредственной же близости отъ нея виденъ лишь совершенно прозрачный просвѣтъ, который начинаетъ заволакиваться туманомъ только на такомъ разстояніи, гдѣ охладившійся паръ сгущается въ воду. Чѣмъ выше температура воздуха, тѣмъ болѣе онъ можетъ вмѣщать водяныхъ паровъ, не будучи ими насыщенъ, и всякой данной температурѣ соотвѣтствуетъ опредѣленное количество пара, насыщающаго данное пространство. Когда содержаніе паровъ въ воздухѣ увеличивается, или же температура соотвѣтственно понижается, происходитъ образованіе тумана и облаковъ. Но до состоянія насыщенія стремленію воды выдѣлять паръ нельзя поставить никакой преграды. Сухой вѣтеръ, дующій съ пустынныхъ плоскогорій Азіи, жадно впитываетъ въ себя влагу почвы и

растеній, способствуя тѣмъ обыкновенно теплой и сухой погодѣ. Наоборотъ теплые западные и южные вѣтры, собравъ много влаги съ поверхности водъ Атлантическаго океана и Средиземнаго моря, выдѣляютъ ее въ нашихъ болѣе холодныхъ областяхъ въ формѣ облаковъ и тумана, принося нерѣдко съ собою дождь. Итакъ, опредѣленіе содержанія въ воздухѣ водяного пара играетъ, какъ можно видѣть, важную роль въ метеорологіи и составляетъ особый отдѣлъ въ наукѣ, именуемый гигрометріей.

Гигрометрія. Предметомъ гигрометріи является главнымъ образомъ опредѣленіе опытнымъ путемъ трехъ основныхъ величинъ: абсолютной влажности, относительной влажности и давленія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ. Подъ абсолютной влажностью понимаютъ массу водяного пара, содержащагося въ одномъ кубическомъ метрѣ атмосфернаго воздуха, выраженную въ граммахъ. Если говорятъ абсолютная влажность воздуха 9 — это значитъ, что каждый кубическій метръ воздуха содержитъ 9 граммовъ паровъ воды. Подъ относительной же влажностью понимаютъ отношеніе количества пара, заключеннаго въ воздухѣ, къ тому количеству пара, которое бы онъ содержалъ въ состояніи насыщенія, иначе: къ максимальному содержанію пара при данной температурѣ. Относительная влажность слѣдовательно всегда выражается правильной дробью. Умножая ее на 100, мы выразимъ ту же величину въ процентахъ абсолютной влажности. Найдя, положимъ, описаннымъ далѣе способомъ, что абсолютная влажность воздуха въ данный моментъ равна 11,5 при температурѣ въ 20° С., а максимальное содержаніе водяного пара при той же температурѣ, вычисленное съ помощью таблицъ Реньо на стр. 472, оказывается равнымъ 17,2, опредѣлимъ относительную влажность дробью $\frac{11,5}{17,2} = 0,67$ или въ процентахъ 67%. Упругость водяного пара равна той части атмосфернаго давленія, которая приходится на долю этого пара. Численная величина ея въ мм. ртутнаго столба приблизительно оказывается равной численной величинѣ абсолютной влажности, выраженной въ граммахъ на 1 куб. метръ.



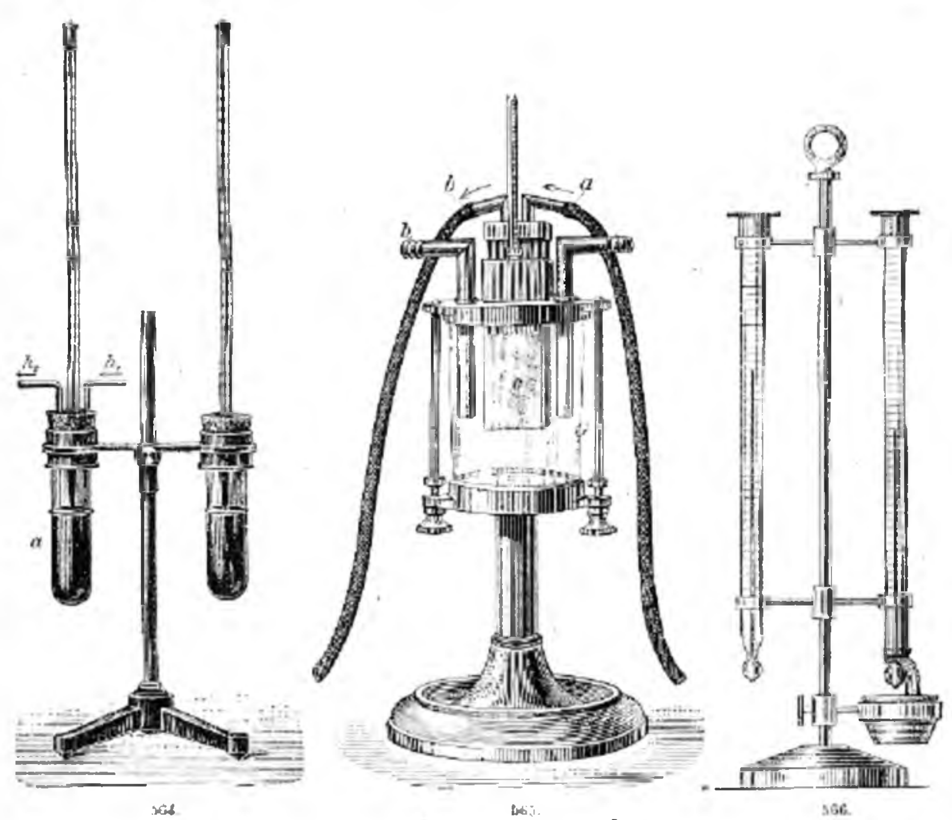


563. Гигрометръ Даніеля.

Абсолютную влажность можно опредѣлить непосредственно, пропуская при помощи аспиратора опредѣленное (по объему) количество воздуха черезъ трубки съ гигроскопическимъ веществомъ (хлористымъ кальціемъ, фосфорнымъ ангидридомъ, пемзой съ сѣрной кислотой). Взвѣсивъ эти вещества въ сухомъ видѣ до наблюденія и затѣмъ, когда онѣ впитаютъ въ себя влагу, по привѣсу опредѣлимъ содержаніе водяного пара въ данномъ объемѣ воздуха.

Способъ наблюденія точки росы. Для опредѣленія влажности часто пользуются въ томъ или другомъ видоизмѣненіи гигрометромъ Даніэля. Оригинальный приборъ изображенъ на рис. 563. Два стеклянныхъ шарика *a* и *b* соединены между собою дважды выгнутой подъ прямымъ угломъ стеклянной же трубкой, и одинъ изъ нихъ *a*, какъ въ кріофорѣ (см. стр. 469), наполняютъ до половины сѣрнымъ эѳиромъ, такъ что внутренность прибора выше уровня жидкости заполнена только парами эѳира. Температура эѳира измѣряется миніатюрнымъ термометромъ, впаяннымъ внутри, такъ чтобы шарикъ его оставался постоянно погруженнымъ въ жидкость; другой термометръ на штативѣ прибора, предназначенъ для наблюденія внѣшней температуры. Часть поверхности шарика *a* въ формѣ широкой

полоски покрыта гладкимъ слоемъ позолоты, шарикъ же b окутанъ лоскуткомъ кисеи. Смачивая ее капля по каплѣ сѣрнымъ эфиромъ, который вслѣдствіе летучести будетъ быстро испаряться и понижать температуру паровъ внутри шарика, мы вызовемъ сгущеніе послѣднихъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ новое образованіе пара надъ поверхностью жидкости въ сосудѣ: попадая въ шарикъ b, паръ этотъ снова будетъ сгущаться и т. д. Словомъ, здѣсь будетъ происходить то же самое, что въ кріофорѣ; результатомъ потери теплоты при испареніи явится охлажденіе въ свою очередь поверхности шарика a, увеличивающееся по мѣрѣ смачиванія кисеи. При достаточномъ пониженіи



564. Гигрометръ Реньо. 565. Аспирационный гигрометръ Дюфура. 566. Психрометръ Августа.

температуры заключенный въ воздухѣ водяной паръ вблизи поверхности шарика a достигнетъ состоянія насыщенія и покроетъ всю поверхность микроскопическими капельками жидкости, какъ роса. Если поливать кисею эфиромъ довольно медленно, то легко можно уловить первое появленіе росы. Отмѣчая въ этотъ моментъ показаніе термометра, помѣщеннаго во внутрь прибора, мы, какъ принято выражаться, находимъ *точку росы*, т.-е. ту температуру, при которой находящійся въ воздухѣ паръ становится насыщеннымъ. Для болѣе точнаго опредѣленія этой температуры слѣдуетъ подождать, пока роса исчезнетъ и тогда снова отмѣтить показаніе термометра. Среднее этихъ двухъ отсчетовъ позволитъ установить точку росы съ большею точностью. Изъ таблицъ Реньо найдемъ соотвѣтствующее давленіе насыщеннаго пара, а затѣмъ опредѣлимъ вычисленіемъ величину абсолютной влажности f. Зная температуру внѣшняго воздуха, опредѣляемую другимъ термометромъ, руководствуясь тѣми же таблицами, найдемъ максимальное

содержаніе пара въ 1 куб. метрѣ воздуха F. Частное этихъ двухъ величинъ $\frac{f}{F}$ даетъ относительную влажность. Если найденная дробь близка къ единицѣ, то съ большимъ вѣроятіемъ можно ожидать дождя, такъ какъ небольшое пониженіе температуры можетъ уже пересытить воздухъ водянымъ паромъ. Наблюденіе точки росы, какъ было сказано, нужно вести съ особенной тщательностью, по возможности сближая моменты ея появленія и исчезновенія. Слѣдуетъ также наблюдать за тѣмъ, чтобы поверхность шарика была защищена отъ дыханія наблюдателя. На рис. 564 изображенъ гигрометръ Реньо, представляющій одно изъ видоизмѣненій прибора Даніэля. Оба термометра помѣщены внутрь металлическихъ сосудовъ, поверхность которыхъ посеребрена и гладко отполирована. Охлажденіе эѳира, налитаго въ одинъ изъ сосудовъ, достигается просачиваніемъ воздуха черезъ трубки h_1 и h_2 съ помощью аспиратора. Роль второго сосуда съ гладко полированной поверхностью дать возможность по сравненію легче уловить первый моментъ появленія росы.

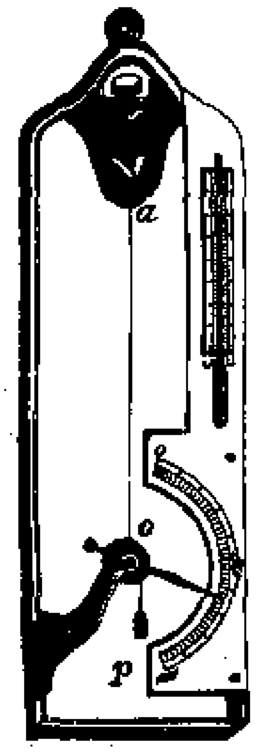
Рис. 565 представляетъ аспираціонный гигрометръ Дюфура. Главную часть его составляютъ два металлическихъ сосуда, отдѣленные другъ отъ друга тонкой тоже металлической пластинкой; задній приблизительно на $^2/_3$ высоты наполненъ сѣрнымъ эѳиромъ, испареніе и охлажденіе котораго, какъ и раньше, вызывается помощью аспиратора; поверхность передняго сосуда, наполняемаго, положимъ, ртутью, никкелирована и хорошо отполирована для того, чтобы можно было наблюдать появленіе росы; погруженный въ ртуть термометръ указываетъ соотвѣтствующую температуру. Весь приборъ окруженъ плотно пригнаннымъ стекляннымъ резервуаромъ, что даетъ возможность пользоваться имъ не только для измѣренія влажности атмосфернаго воздуха, но и всякаго иного газа: тогда послѣдній продуваютъ черезъ трубки a_1 b_1.

Значительно удобнѣе можно опредѣлить влажность, пользуясь психрометромъ Августа (рис. 566). Онъ представляетъ изъ себя соединеніе двухъ *термометровъ, одинъ изъ которыхъ предназначается для наблюденія температуры* внѣшняго воздуха, другой же окутывается тонкой матеріей (муслиномъ) и окружается кромѣ того ламповой свѣтильней, конецъ которой погруженъ въ стаканчикъ съ водой: такимъ образомъ шарикъ этого термометра всегда покрытъ влагой. Оба термометра вывѣрены, и дѣленія шкалы нанесены съ большой точностью. При полномъ насыщеніи воздуха водянымъ паромъ показанія того и другого должны быть одинаковы, такъ какъ въ этомъ случаѣ съ поверхности влажнаго термометра не будетъ происходить отдѣленія паровъ. Если же, какъ это всегда на самомъ дѣлѣ бываетъ, воздухъ не вполнѣ насыщенъ водянымъ паромъ, влажный термометръ вслѣдствіе потери теплоты при испареніи воды станетъ понижаться, и пониженіе температуры пойдетъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ суше воздухъ, т.-е., чѣмъ быстрѣе совершается испареніе. Разность температуръ между термометромъ и окружающей средой вызоветъ къ нему новый притокъ теплоты извнѣ и, когда этотъ притокъ будетъ равенъ тому количеству теплоты, какое термометръ теряетъ при испареніи воды во внѣшнее пространство, т.-е. установится тепловое равновѣсіе, температура, указываемая термометромъ, будетъ нѣкоторое время оставаться постоянной. Давленіе паровъ, насыщающихъ пространство, при этой температурѣ будетъ менѣе давленія паровъ, содержащихся въ воздухѣ. Послѣднее можемъ найти, наблюдая разность между показаніями обоихъ термометровъ, такъ называемую психрометрическую разность, изъ таблицъ, составленныхъ Августомъ по эмпирической формулѣ, провѣренной впослѣдствіи Реньо.

Гигрометръ съ волосомъ. Многія органическія соединенія обладаютъ способностью измѣнять объемъ или форму, впитывая въ себя влагу

атмосфернаго воздуха, какъ-то: волосы, китовый усъ, остовъ птичьяго пера, дерево, солома и т. д. Такія, какъ ихъ называютъ, **гигроскопическія** тѣла могутъ быть примѣнены въ качествѣ измѣрителей влажности. Шкала приборовъ, основанныхъ на этомъ принципѣ, градуируется эмпирически. Въ Нюрнбергѣ тысячами экземпляровъ заготовляются всѣмъ извѣстные указатели погоды. На крученую, натянутую отвѣсно кишечную струну надѣтъ горизонтальный папковый кружокъ. Струна скрыта отъ глазъ декораціей, представляющей домикъ съ двумя дверцами, а на папковый кругъ насажены фигуры кавалера и дамы. Когда вслѣдствіе сырости струна раскручивается, изъ дверки выходитъ кавалеръ съ зонтикомъ, въ сухую же погоду изъ другой дверки появляется дама, держа въ рукахъ вѣеръ. Въ первомъ случаѣ ждите дождя, во второмъ можете надѣяться на ясную сухую погоду. Подобные приборы, изготовляемые изъ различныхъ матеріаловъ и самой разнообразной внѣшности, распространены повсюду. Вѣрность ихъ показаній оставляетъ много желать.





567. Волосяной гигрометръ Соссюра.

Дѣйствительно надежные результаты могутъ быть получены лишь при употребленіи гигрометра Соссюра, основаннаго на томъ же принципѣ (рис. 567). Главную часть его представляетъ женскій волосъ, тщательно промытый эеиромъ или щелочью для удаленія жира. Верхній конецъ его укрѣпленъ неподвижно въ точкѣ *a*, нижній же перекинутъ черезъ ось *O* свободно вращающагося блока; грузъ *p* держитъ волосъ постоянно натянутымъ. Количество влаги, заключающейся въ волосѣ, находится въ зависимости отъ степени сырости, т.-е. относительной влажности воздуха; впитывая въ себя влагу, волосъ удлиняется, теряя же ее, укорачивается. Измѣненія длины волоса вызываютъ движеніе соединеннаго съ блокомъ указателя, который и отмѣчаетъ ихъ на *градуированной эмпирически* шкалѣ въ увеличенномъ масштабѣ. Для опредѣленія нуля шкалы слѣдуетъ помѣстить приборъ подъ колоколъ воздушнаго насоса и выкачивать изъ него воздухъ, вытягивая въ то же время влагу хлористымъ кальціемъ или сѣрной кислотой, такъ, чтобы волосъ можно было считать вполнѣ сухимъ. Цифрой 100 обозначаютъ то дѣленіе, гдѣ устанавливается указатель, когда приборъ помѣщенъ подъ стеклянный колоколъ, обложенный изнутри смоченной пропускной бумагой, и частью погруженный въ сосудъ съ водой. *Промежуточныя дѣленія наносятся по сравненію съ однимъ изъ точныхъ гигрометровъ иной системы.*

Въ конструкціи Дюлюка волосъ замѣненъ китовымъ усомъ.

Вѣсъ воздуха. Вѣсъ воздуха измѣняется въ зависимости отъ колебанія трехъ метеорологическихъ элементовъ: высоты барометра, температуры и влажности. Одинъ куб. сантиметръ сухого атмосфернаго воздуха, безъ примѣси углекислоты, при нормальномъ давленіи 760 мм. и при температурѣ 0° C. вѣситъ 1,293 мгр. Съ возрастаніемъ давленія вѣсъ воздуха увеличивается; влажность и повышеніе температуры имѣютъ обратное вліяніе.

Основанія метеорологіи. Измѣненія въ состояніи нашей атмосферы въ большинствѣ случаевъ могутъ быть сведены къ измѣненіямъ, происходящимъ въ воздухѣ отъ дѣйствія теплоты, когда онъ находится въ покоѣ или приведенъ въ движеніе, при этомъ должна быть принята во вниманіе способность воздуха насыщаться водянымъ паромъ и образовать осадки. Разнообразность явленій, вызванныхъ нарушеніемъ атмосфернаго равновѣсія, обусловливается вліяніемъ теплоты уже потому, что отъ дѣйствія послѣдней измѣняется упругость воздуха, и кромѣ того усугубляется еще отъ вліянія вращенія земли вокругъ оси. Съ одной стороны лучи, посылаемые солнцемъ на землю,

встрѣчають каждый разъ новые пункты ея поверхности, что служитъ причиною образованія вѣтровъ или движенія воздуха, съ другой стороны уменьшеніе скорости по направленію отъ экватора къ полюсамъ ведетъ къ возникновенію постоянныхъ воздушныхъ теченій. Періодически повторяющіяся измѣненія положенія земли относительно солнца сопровождаются въ свою очередь извѣстными явленіями въ атмосферѣ, правильно слѣдующими другъ за другомъ.

Смѣна дня и ночи и перемѣна временъ года всегда влекутъ характерныя измѣненія теплового состоянія атмосферы. На такой планетѣ, которая представляла бы изъ себя правильный шаръ и обладала бы симметричнымъ распредѣленіемъ водъ, суши и горныхъ хребтовъ, всѣ измѣненія, совершающіяся въ окутывающемъ ее воздушномъ океанѣ, шли бы одно за другимъ въ строго математической послѣдовательности. Что касается земли, то здѣсь обстоятельства дѣла не такъ просты. Различныя мѣстныя и временныя условія оказываютъ до такой степени измѣнчивое вліяніе на ходъ процессовъ, вызываемыхъ дѣйствіемъ солнечной теплоты, что въ состояніи погоды могутъ явиться неожиданно измѣненія самаго разнообразнаго характера.



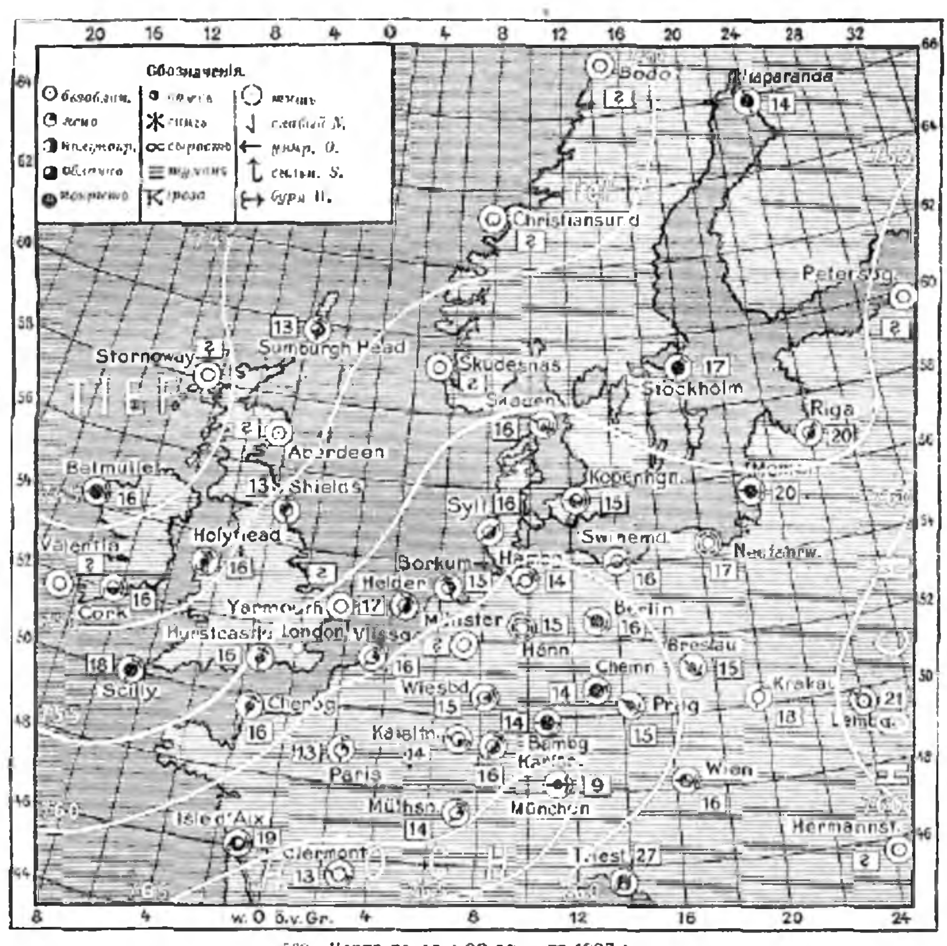
368. Анемометръ метеорологической обсерваторіи на вершинѣ Сентиса.

Погодой или **состояніемъ погоды** называютъ совокупность измѣненій атмосферическихъ условій данной мѣстности за тотъ или другой промежутокъ времени. Тотъ отдѣлъ физики, который трактуетъ явленія, происходящія въ атмосферѣ и слѣдитъ за измѣненіями ея состоянія, называется **метеорологіей**.

Къ главнѣйшимъ инструментамъ, предназначеннымъ для метеорологическихъ наблюденій, кромѣ извѣстныхъ уже намъ барометра, термометра и психрометра, нужно отнести также **плювіометръ** или дождемѣръ, опредѣляющій количество выпавшихъ за извѣстное время осадковъ, **флюгеръ**, указывающій направленіе вѣтра, **анемометръ**, измѣряющій его силу, **электроскопъ** или **электрометръ**, дающій картину измѣненій въ электрическомъ состояніи атмосферы, наконецъ, **озонометръ**, т.-е. приборъ для опредѣленія содержанія озона въ атмосферномъ воздухѣ и многіе другіе инструменты.

Какое вліяніе оказываетъ погода на благосостояніе не только отдѣльныхъ лицъ, но въ извѣстныхъ случаяхъ цѣлыхъ странъ и народовъ, издавна всѣмъ извѣстно. Послѣдніе годы показали, сколько вреда могутъ принести повторяющіяся безпрестанно наводненія. Но, оставляя въ сторонѣ столь грандіозныя событія, можно насчитать много родовъ дѣятельности, успѣшность которыхъ обусловлена въ значительной степени состояніемъ погоды въ данное время, каковы напримѣръ сельское и лѣсное хозяйство, занятіе охотой, виноделіе и на первомъ планѣ мореплаваніе, далѣе рыбный промы-

сель и цѣлый рядъ производствъ, гдѣ, какъ напримѣръ въ помолѣ зерноваго хлѣба, многое зависитъ отъ урожая сырого продукта, который онѣ заготовляютъ или обрабатываютъ. Крестьяне и моряки поэтому давно уже поняли, какъ важно предугадать заранѣе погоду. Имъ мы обязаны составленіемъ многочисленныхъ примѣтъ о погодѣ, въ формѣ остроумныхъ изреченій, составлявшихъ все научное достояніе метеорологіи до XX вѣка. Но даже въ лучшемъ случаѣ, когда для извѣстной мѣстности, составленіе указаній погоды



529. Карта погоды 20 августа 1897 года.

по такимъ примѣтамъ является удачнымъ, онѣ все же страдаютъ отъ невозможности выясненія причинъ, вызывающихъ тѣ или другія явленія, чего можно достигнуть только, сопоставляя всѣ обстоятельства, сопровождающія извѣстное событіе.

Въ большинствѣ случаевъ высказываемыя положенія нерѣдко прямо безсмысленны. Сюда напримѣръ нужно отнести предсказанія погоды по Брюсову календарю на тысячу лѣтъ впередъ, для чего, конечно, въ настоящее время не можетъ быть достаточныхъ данныхъ. Наука, именуемая метеорологіей или физикой атмосферы, ничего общаго съ ними не имѣетъ. Для нея существуютъ только явленія, какъ результатъ дѣйствія силъ, природу которыхъ, взаимную связь и величину она старается опредѣлить путемъ особыхъ

методовъ, чтобы такимъ образомъ составить матеріалъ для сужденія о слѣдующихъ затѣмъ явленіяхъ и, если можно, по сравненію вывести заключенія о томъ, какія событія будутъ имъ сопутствовать. Конечно, о вызываемыхъ совокупностью атмосферныхъ явленій послѣдствіяхъ, т.-е. о погодѣ можно высказывать только предположительное сужденіе, такъ какъ эта совокупность слагается изъ столь многочисленныхъ и разнообразныхъ факторовъ, что достигнуть вполнѣ точнаго измѣренія и сопоставленія всѣхъ необходимыхъ величинъ нѣтъ никакой возможности. Однако практическая польза развитія метеорологіи, какъ особой отрасли научныхъ знаній, чрезвычайно велика. Достаточно было указать законы движенія вѣтровъ и объяснить происхожденіе ураганов ъ особымъ вихревымъ движеніемъ вокругъ перемѣннаго центра, перемѣщающагося по извѣстному направленію, чтобы дать мореплавателямъ возможность избѣгать бурь, направляя ходъ корабля въ противную сторону.

Чтобы имѣть картину распредѣленія атмосферическихъ явленій въ различныхъ мѣстностяхъ въ одинъ и тотъ же моментъ времени, рѣшено было, по предложенію Александра Гумбольдта, раскинуть по всему земному шару сѣть метеорологическихъ станцій, петли которой все суживались бы по мѣрѣ сооруженія новыхъ пунктовъ наблюденія. Предложеніе это было принято всѣми культурными странами и вызвало образованіе метеорологическихъ конгрессовъ, созываемыхъ для установленія новыхъ методовъ наблюденія и оцѣнки полученныхъ ранѣе результатовъ. Для обозначенія постоянно наблюдаемыхъ метеорологическихъ явленій придуманы особые шифры. Отдѣльныя, наиболѣе важныя метеорологическія станціи сносятся но телеграфу съ центральнымъ пунктомъ, который подвергаетъ извѣстія дальнѣйшей обработкѣ и публикуетъ ихъ во всеобщее свѣдѣніе. Центральнымъ пунктомъ для Германіи является астрономическая обсерваторія въ Гамбургѣ, бюллетени ея печатаются ежедневно; въ видѣ образца приводимъ одинъ изъ нихъ, относящійся къ 20 августа 1891 г. (рис. 569). Бѣлыя цифры на черномъ полѣ даютъ величину атмосфернаго давленія для различныхъ пунктовъ наблюденія. Бѣлыми линіями обозначены геометрическія мѣста одинаковыхъ давленій (изобары). Словами „Hoch" или „Tief" обозначены соотвѣтственно положенія максимумовъ и минимумовъ давленій. Черныя цифры указываютъ температуру въ °C., а число перышковъ у стрѣлокъ, представляющихъ направленіе вѣтра, позволяетъ судить о силѣ послѣдняго, выражаемой по шкалѣ Бофорта. Кромѣ приведенныхъ въ бюллетенѣ обозначеній иногда вводятъ еще другія, таблица которыхъ приложена выше (рис. 570), но рѣдко.

Молнія безъ грома или зарница.
Градъ.
Крупа.
Иней.
Роса.
Изморозь.
Гололедица.
Снѣжная вьюга (пурга).
Ледяныя иглы.
Сильный вѣтеръ.
Кольца вокругъ солнца.
Солнечный вѣнчикъ.
Кольца вокругъ луны.
Вѣнчикъ луны.
Радуга.
Сѣверное сіяніе.

570. **Метеорологическія обозначенія.**

Понятно, что способы, какими пользуются для наблюденій, должны быть вполнѣ согласованы. Согласованіе достигается тѣмъ, что повсюду пользуются приборами одной конструкціи, и самое наблюденіе пріурочиваютъ къ одному и тому же времени, такъ какъ опредѣленія температуры, давленія и влажности воздуха ведутся не непрерывно, а только въ извѣстные часы; затѣмъ уже берется средняя величина изъ всѣхъ показаній. Сопоставляя данныя отдѣльныхъ станцій, можно получить приблизительно вѣрную картину состоянія погоды во всемъ участкѣ. Иногда важно бываетъ въ короткое время составить себѣ представленіе о ходѣ измѣненія метеорологическихъ

элементовъ за извѣстный промежутокъ времени. Такъ какъ, производя наблюденія только въ опредѣленные часы, этого нельзя достигнуть, то стараются дѣлать такъ, чтобы приборы автоматически записывали свои показанія. Иногда штифтъ, приводимый въ дѣйствіе самимъ приборомъ, отмѣчаетъ показанія послѣдняго на движущейся равномѣрно (съ помощью часового механизма) бумажной лентѣ, иногда же на приспособленной для того свѣточувствительной бумажкѣ фотографируются движенія указателя дѣйствующаго прибора.

Представимъ себѣ, что надъ поверхностью ртути въ короткомъ колѣнѣ сифоннаго барометра, гдѣ уровень жидкости совершаетъ тѣ же колебанія, что и въ длинномъ (передъ Торричеліевой пустотой), плаваетъ пробочный поплавокъ съ красящимъ штифтикомъ. Если будемъ передъ штифтикомъ двигать бумажную ленту, то на ней будетъ вычерчиваться кривая измѣненія высоты ртутной колонны барометра; наиболѣе низкія точки кривой соотвѣтствуютъ относительнымъ максимумамъ давленій и обратно. Того же можно достигнуть, двигая позади ртутной колонны листъ фотографической бумаги. Подъ дѣйствіемъ свѣтовыхъ лучей всѣ мѣста, не загораживаемыя непрозрачной колонной ртути, окажутся зачерненными. Такими и подобными имъ принципами руководятся при устройствѣ барографовъ, термографовъ и другихъ пишущихъ приборовъ.



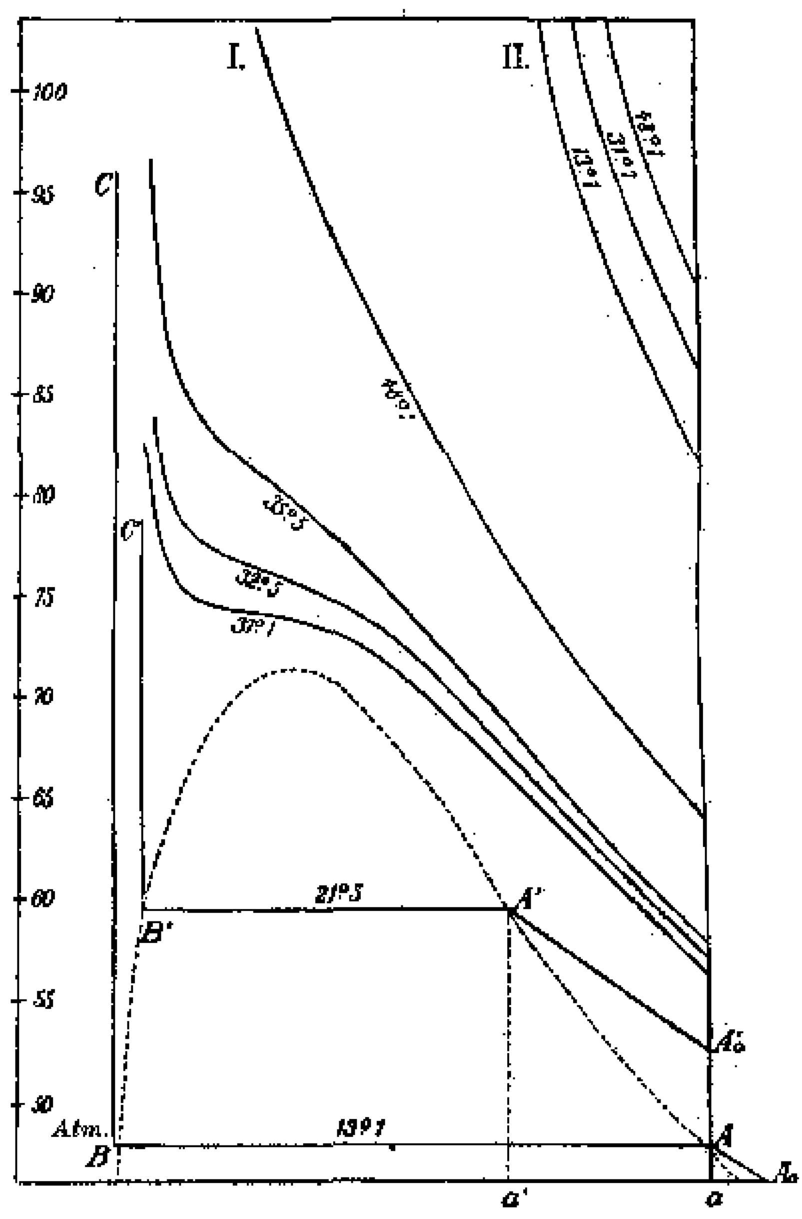
571. Изотерма воздуха

Особенно остроумно построенъ аппаратъ знаменитаго астронома, патера Секки въ Римѣ. Приводимый въ дѣйствіе съ помощью часового механизма, онъ вычерчиваетъ автоматически кривыя всѣхъ метеорологическихъ величинъ. Впервые этотъ приборъ, подъ названіемъ метеорографа, демонстрировался на Парижской выставкѣ 1866 г. и служилъ предметомъ всеобщаго удивленія. Съ тѣхъ поръ онъ получилъ примѣненіе во многихъ астрономическихъ обсерваторіяхъ, являясь не знающимъ устали работникомъ. Вычерчивая кривыя на подвижномъ барабанѣ, аппаратъ Секки запечатлѣваетъ фотографически показанія барометра, отмѣчаетъ температуры сухого и влажнаго термометровъ, указываетъ, когда и въ какомъ количествѣ выпадалъ дождь. Всѣ эти инструменты помѣщены на одной сторонѣ аппарата. Другая сторона содержитъ приборы для опредѣленія направленія и силы вѣтра, термометръ, подвергаемый непосредственно дѣйствію солнечныхъ лучей; кромѣ того тутъ же можно контролировать показанія барометра и дождемѣра. Таблицы одной категоріи приборовъ отвѣчаютъ промежутку времени въ $2^1/_2$ сутокъ, другой до 10 сутокъ. По прошествіи этого времени ихъ слѣдуетъ замѣнить новыми. Полная картина всѣхъ происходящихъ за это время въ атмосферѣ явленій получается благодаря удачно придуманному часовому механизму, многочисленнымъ передачамъ съ помощью зубчатыхъ колесъ и рычаговъ, исполненныхъ съ большимъ совершенствомъ. О явленіяхъ, которыя не могутъ быть наблюдаемы въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится аппаратъ, сообщается по телеграфу или путемъ электромагнитной передачи, для чего тутъ же имѣется и гальваническая батарея. Въ послѣднее время весьма интереснымъ метеорографомъ является приборъ, конструкція котораго принадлежитъ проф. Риссельберге въ Остенде.

Сжиженіе газовъ. Критическая температура и критическое давленіе. Прежде мы видѣли отличіе между газомъ и насыщеннымъ паромъ въ томъ, что первый слѣдуетъ закону Маріотта—Гей-Люссака,

второй же при извѣстной температурѣ сохраняетъ всегда одну и ту же максимальную упругость. Но отличіе это только степенное, характернаго же отличія между парами и газами не существуетъ.

Пусть температура одного килограмма воздуха въ среднемъ остается постоянной, тогда между его объемомъ и давленіемъ всегда должно существовать соотношеніе, выражаемое закономъ Маріотта $pv = Const$. Выражая эту зависимость графически въ системѣ прямоугольныхъ координатъ, гдѣ по оси абсциссъ откладываются объемы, а ординаты указываютъ соотвѣтствующія давленія, мы получимъ нѣкоторую кривую (рис. 571). Какъ можно убѣдиться изъ аналитическаго разсмотрѣнія приведенной формулы, кривая эта будетъ гипербола. Мы будемъ называть эту кривую **изотермой**[1], приписывая то же наименованіе всякой кривой, выражающей измѣненія величинъ, характеризующихъ состояніе газа при постоянной температурѣ.



572. I. Изотермы углекислоты. II. Изотермы воздуха.

Если воздухъ замѣнимъ углекислымъ газомъ и температуру его будемъ поддерживать постоянно равной, положимъ, 50° C., то между объемомъ и давленіемъ будетъ существовать такая же зависимость, какъ и относительно воздуха; графически она также можетъ быть представлена гиперболой. Понижая уровень постоянной температуры не далѣе 40° C., мы будемъ получать все время кривыя того же типа. Иное будетъ, если понизимъ температуру настолько, что углекислота можетъ наконецъ перейти въ жидкость при болѣе или менѣе значительномъ давленіи, напримѣръ, будемъ сохранять ее равной 21,5° C. Постепенно увеличивая давленіе на газъ, мы добьемся наконецъ того, что онъ начнетъ обращаться въ жидкость. Какъ только появится хоть одна капля жидкости, мы уже будемъ имѣть дѣло съ насыщеннымъ паромъ; давленіе его будетъ оставаться постояннымъ, пока вся углекислота не обратится цѣликомъ въ жидкость; далѣе вслѣдствіе малой сжимаемости жидкой углекислоты ничтожному уменьшенію объема будетъ соотвѣтствовать огромное увеличеніе давленія.

Итакъ, слѣдуетъ отличать три отдѣльныя части изотермы (для 21,5° C.) $A_0' A' B' C'$. Часть $A_0' A'$ (рис. 572) выражаетъ измѣненіе состоянія углекислаго газа, при повышеніи давленія до величины, опредѣляемой ординатой $a' A'$, когда оно равно упругости насыщеннаго пара. Часть $A' B'$ соотвѣтствуетъ переходу углекислоты въ жидкость, т.-е. когда у насъ имѣется насыщенный паръ и жидкая углекислота; часть $B' C'$ выражаетъ измѣненіе

[1] Въ климатологіи изотермами называются линіи, соединяющія пункты, гдѣ температура одинакова.

объема жидкой углекислоты при дальнѣйшемъ увеличеніи давленія. Подобныя же кривыя получаются и при болѣе низкихъ температурахъ (на рисункѣ представлена изотерма для 13,1°), равно какъ и при болѣе высокихъ, но не выше нѣкоторой опредѣленной температуры, когда средняя часть кривой, соотвѣтствующая состоянію сжиженія, вовсе исчезаетъ. Сколько бы ни увеличивали давленія при этой температурѣ, мы жидкости не получимъ. Такая температура, выше которой газъ никакимъ давленіемъ не можетъ быть обращенъ въ жидкость, называется критической. То давленіе, при которомъ какъ бы исчезаетъ разница между жидкимъ и газообразнымъ состояніемъ вещества, если газъ находится при критической температурѣ, тоже называется критическимъ, равно какъ и самое состояніе вещества. Иногда такое состояніе газа называютъ еще состояніемъ Каньяръ де Латура, по имени ученаго, впервые обратившаго вниманіе на подобнаго рода явленія. Изотермы углекислаго газа впервые были опредѣлены опытнымъ путемъ Эндріусомъ. Крайняя абсцисса чертежа (рис. 572) соотвѣтствуетъ не нулевому давленію, а давленію 47 атмосферъ.

Подвергая нагрѣванію запаянную стеклянную трубочку, до половины наполненную углекислотой, причемъ воздухъ совершенно удаленъ, такъ что надъ жидкостью находятся лишь насыщающіе пространство пары, мы будемъ наблюдать быстрое расширеніе жидкой колонны; оно будетъ совершаться тѣмъ быстрѣе, чѣмъ ближе мы подходимъ къ критической температурѣ. Выпуклый менискъ жидкости будетъ все болѣе и болѣе расплываться, и наконецъ совершенно исчезнетъ граница между жидкостью и паромъ; это будетъ какъ разъ тотъ моментъ, когда мы достигли критической температуры (для углекислоты + 32° С.). Вся трубка на видъ заполнена совершенно однородной массой. Сжиженіе газа и явленіе Каньяръ де Латура легко можно демонстрировать при помощи аппарата Кальете (рис. 573). Черезъ просушенную хорошо стеклянную трубку *a*, нижняя часть которой погружена чуть-чуть во ртуть, продуваютъ подъ небольшимъ давленіемъ углекислый газъ въ теченіе болѣе или менѣе значительнаго времени, послѣ чего трубку сверху запаиваютъ; нижній конецъ также на время плотно закупориваютъ, не вынимая трубки и стараясь не вылить изъ нея ртути. Затѣмъ помѣщаютъ трубку въ желѣзный кованый сосудъ *G*, также отчасти наполненный ртутью. Сверху сосудъ плотно замыкается винтомъ *V*, нижняя же часть его посредствомъ мѣдной трубки сообщается съ гидравлическимъ прессомъ *P*. Благодаря такому устройству оказывается возможнымъ давленіе на ртуть, а равнымъ образомъ и на газъ, заключенный въ трубкѣ, довести до 300 атмосферъ. Такимъ образомъ приборъ этотъ позволяетъ наблюдать постепенное сжиженіе углекислоты и явленія, сопровождающія критическое состояніе газа. Въ послѣднемъ случаѣ стеклянный колоколъ *b* заполняется водой, нагрѣваемой приблизительно до + 35° С.

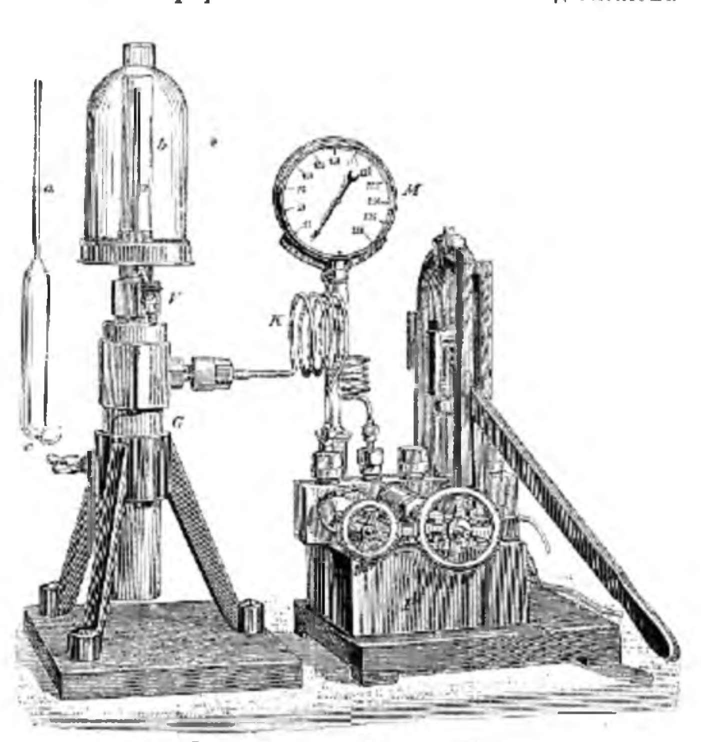
Далѣе приведены данныя, характеризующія

критическое состояніе различныхъ веществъ:

	Критич. температура	Критич. давленіе
Вода	365° С	196 атмосферъ
Сѣроуглеродъ	275° „	76 „
Сѣрнистая кислота	157° „	80 „
Амміакъ	130° „	140 „
Углекислота	32° „	75 „
Этиленъ	9,2° „	58 „
Кислородъ	—118° „	48 „
Окись углерода	—140° „	36 „
Азотъ	—145° „	42 „
Водородъ	—174° „	99 „

Первоначальные опыты надъ сжиженіемъ газовъ. Сжиженіе кислорода, азота и окиси углерода. Хлоръ былъ полученъ въ

жидкомъ видѣ еще въ 1805 году Нортморе. Фарадею удалось въ двадцатыхъ годахъ прошлаго вѣка однимъ только давленіемъ сгустить хлоръ, сѣрнистую кислоту, сѣроводородъ, ціанъ, углекислоту и закись азота; примѣняя же одновременно высокое давленіе и охлажденіе, онъ обратилъ въ жидкость, а частью даже получилъ въ твердомъ видѣ, многія вещества, извѣстныя всѣмъ до тѣхъ поръ только въ газообразномъ состояніи. Особенно заслуживаетъ вниманія опытъ Тиролье полученія углекислоты въ твердомъ видѣ (1834 г.), такъ какъ благодаря этому явилась возможность достигать значительно низкихъ температуръ. Когда Натерерь далъ конструкцію аппарата, позволяющаго безопасно оперировать съ весьма сильнымъ давленіемъ (1844), явились попытки произвести сгущеніе постоянныхъ газовъ, сжимая ихъ подъ возможно высокимъ давленіемъ. Но опыты эти не увѣнчались успѣхомъ, несмотря на то, что давленіе доходило до 3000 атмосферъ. Лишь послѣ того, какъ прекрасныя и весьма замѣчательныя опытныя изслѣдованія Эндріуса, много способствовавшія установленію правильнаго взгляда на сущность газообразнаго и жидкаго состоянія матеріи, ясно показали, что для успѣшнаго исполненія задачи необходимо прибѣгнуть къ охлажденію, чтобы



373. Приборъ Кальете для сжиженія газовъ.

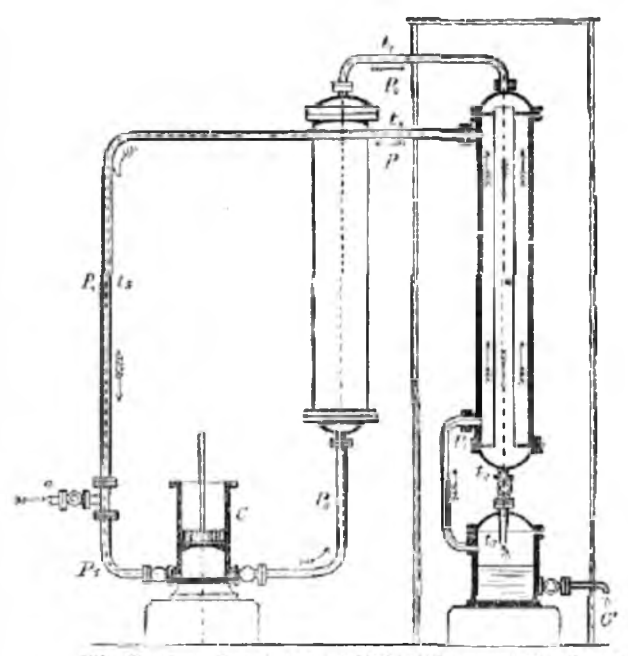
перейти черезъ уровень критической температуры, одновременно (1877) Кальете въ Парижѣ и Пикте въ Женевѣ (нынѣ работающій въ Берлинѣ), а затѣмъ позднѣе Вроблевскій и Ольшевскій въ Краковѣ получаютъ всѣ постоянные газы въ жидкомъ состояніи. Методъ Кальете даетъ возможность вслѣдствіе мгновеннаго расширенія сжатаго подъ большимъ давленіемъ (доходящаго до 300 атм.) кислорода вызвать сильное охлажденіе послѣдняго, такъ что онъ выходитъ изъ прибора въ видѣ густого тумана. Туманъ этотъ и представляетъ изъ себя мельчайшія капельки жидкаго кислорода. Подобнымъ же образомъ Кальете сгущалъ азотъ, водородъ и атмосферный воздухъ. Рауль Пикте прибѣгъ къ иному средству. Жидкую сѣрнистую кислоту онъ заставлялъ проходить по системѣ трубочекъ, гдѣ она испытывала попеременно то сгущеніе, то разрѣженіе. Такимъ круговымъ процессомъ, вслѣдствіе потери теплоты при испареніи, ему удавалось достигнуть пониженія температуры до —65° С. Этимъ онъ воспользовался для сгущенія углекислоты, сжатой въ сосудѣ подъ небольшимъ сравнительно давленіемъ (4—6 атм.). Теперь при испареніи ея температура понижалась уже до —130° С. Въ

пространство съ столь низкой температурой Пикте помѣщалъ металлическую трубку, длиною 5 м., сообщенную съ резервуаромъ изслѣдуемаго газа. Кислородъ получался нагрѣваніемъ Бертолетовой соли, а водородъ изъ смѣси муравьинокислаго калія съ ѣдкимъ натромъ. Давленіе кислорода въ началѣ *реакціи доходило до 520 атм., но затѣмъ вскорѣ падало до 320. При открываніи* крана, устанавливающаго сообщеніе между названной длинной трубкой и резервуаромъ съ кислородомъ, газъ стремительно входитъ въ нее, частью уже въ формѣ жидкой струи, собственнымъ давленіемъ сжимая и остальную массу. Рауль Пикте устраивалъ цѣлыя огромныя машины для сжиженія газовъ, заставляя углекислоту совершать нѣсколько круговыхъ процессовъ. Одинъ изъ его аппаратовъ демонстрировался въ дѣйствіи на Женевской національной выставкѣ. Въ первой части прибора съ помощью охладительной смѣси Пикте, представлявшей смѣсь углекислоты съ сѣрнистой кислотой, производилось пониженіе температуры отъ —100° до —110°, которымъ пользовались для сжиженія во второмъ аппаратѣ закиси азота, что вызывало уже *пониженіе температуры до —160°. Въ третьемъ аппаратѣ сжижался кислородъ* и атмосферный воздухъ безъ посторонняго давленія. Для измѣренія достигаемыхъ при этомъ низкихъ температуръ (Вроблевскій и Ольшевскій сжиженіемъ кислорода достигали максимальнаго пониженія до —213° С.) нельзя уже пользоваться воздушнымъ термометромъ. Чаще всего при этомъ прибѣгаютъ къ термоэлементамъ, устройство которыхъ описано въ отдѣлѣ объ электричествѣ.

Способъ Линде полученія воздуха въ жидкомъ видѣ. Еще недавно профессоръ Линде въ Мюнхенѣ указалъ способъ сжиженія воздуха, основанный на совершенно новомъ принципѣ. Пользуясь его идеей, можно получить жидкій воздухъ въ любомъ количествѣ такимъ простымъ путемъ и со столь ничтожными сравнительно издержками, что не только для лабораторій, но даже для промышленныхъ мастерскихъ указанный способъ является какъ нельзя болѣе подходящимъ. Примѣнявшіяся же до этого времени средства требовали обращенія съ довольно сложными и дорого стоющими аппаратами. Лишь весьма немногія лабораторіи во всемъ мірѣ могли пользоваться до сихъ поръ жидкимъ воздухомъ при производствѣ научныхъ опытовъ, да и то въ самомъ ничтожномъ количествѣ. Основанія своей идеи *Линде почерпнулъ въ явленіи, наблюдавшемся многими, но не удостоенномъ* должнаго вниманія, а именно — что воздухъ, выходя изъ клапана, охлаждается, такъ какъ на внѣшнюю работу при этомъ затрачиваетъ извѣстное количество теплоты. Но получаемое въ этомъ явленіи охлажденіе, какъ показали теоретическія и экспериментальныя изслѣдованія Томсона и Джоуля, довольно ничтожно. Линде стремится увеличить его слѣдующими мѣрами: 1) онъ усиливаетъ первоначальное охлажденіе газа, дѣлая возможно больше разность между давленіями, подъ которыми газъ поступаетъ и выходитъ, 2) старается достичь этого съ наименьшей затратой работы, руководясь соображеніемъ, что послѣдняя зависитъ не отъ разности давленій, а отъ отношенія между ними, и 3) далѣе пользуется принципомъ противотоковъ, заставляя *вытекшій воздухъ охлаждать еще не успѣвшій выйти изъ отверстій, т.-е.* устраивая, такъ сказать, самодѣйствующій охладительный аппаратъ.

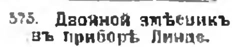
На рисункѣ 574 представленъ приборъ Линде въ схематическомъ видѣ. Черезъ флянецъ *a* поступаетъ атмосферный воздухъ, нагнетаемый въ компрессоръ (сгуститель *C*). Здѣсь первоначальное давленіе P_1 увеличивается до величины P_2, отчего воздухъ нагрѣвается. Сохраняя то же давленіе, онъ охлаждается до температуры t_1, проходя по трубкамъ, обливаемымъ холодной водой, и затѣмъ уже вступаетъ въ среднюю часть такъ называемаго аппарата противныхъ теченій (Gegenströmapparat), пробираясь къ регуляторному клапану. Здѣсь, вырываясь наружу подъ большимъ давле-

шемъ, сжатый воздухъ сильно охлаждается вслѣдствіе паденія давленія до *первоначальной величины* P_1; *затѣмъ, пріобрѣтая температуру* t_3, *онъ снова* попадаетъ въ аппаратъ противныхъ теченій, гдѣ будетъ уже двигаться



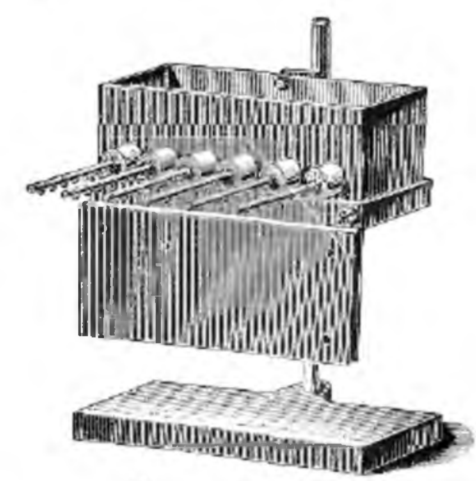
574. Приборъ Линде для приготовленія жидкаго воздуха.





575. Двойной змѣевикъ въ приборѣ Линде.

вверхъ, въ направленіи, указанномъ стрѣлками (газъ, идущій въ это время по внутренней трубкѣ будетъ уже сильнѣе охлаждаться); выводного отверстія онъ достигнетъ, имѣя температуру t_1, и здѣсь, вслѣдствіе новой отдачи тепла, еще разъ охладится до температуры t_5, съ которой и будетъ поступать въ компрессоръ. Описанный круговой процессъ продолжается до тѣхъ поръ, пока воздухъ не начнетъ сжижаться. Жидкій воздухъ собирается въ пріемникѣ, изъ котораго свободно выливается при открытіи крана G'. Аппаратъ противныхъ теченій, приведенный здѣсь только въ схематическомъ видѣ (рис. 575), состоитъ изъ двухъ, вложенныхъ одна въ другую, спирально-скрученныхъ мѣдныхъ трубокъ, длиною до 40 метр., имѣющихъ въ діаметрѣ 3 и 6 см. Онѣ соединяются одна съ другой такимъ образомъ, что прошедшій по внутренней трубкѣ атмосферный воздухъ послѣ того проталкивается черезъ поворотный клапанъ въ наружную; внутренняя трубка при этомъ подвергается новому охлажденію. При продолженіи кругового процесса это охлажденіе все время увеличивается, такъ что вскорѣ температура понижается до критической (— 141° C.). Впервые профессоръ Линде произвелъ



576. Приборъ Ингенгуса.

опытъ съ своимъ приборомъ въ Мюнхенѣ. Затѣмъ онъ демонстрировался на Баварской національной выставкѣ въ Нюрнбергѣ въ 1896 г., а въ январѣ 1897 г. тотъ же приборъ былъ перевезенъ въ Берлинъ. Давленіе P_1 при его опытахъ равнялось приблизительно 22 атмосферамъ, а P_2 — 55-ти. Пониженіе температуры доходило до —163° С. Употребляя тройной сгуститель Бротерхуда (въ Лондонѣ), въ теченіе часа можно сжать подъ давленіемъ 175 атмосферъ около 20 куб. м. воздуха. Въ жидкомъ видѣ получается при этомъ нѣсколько литровъ. Въ качествѣ пріемниковъ употребляются стаканчики Дьюара, съ полыми стѣнками, изъ которыхъ выкаченъ воздухъ для устраненія нагрѣванія вслѣдствіе проводимости. Въ такихъ сосудахъ атмосферный воздухъ, температура котораго достигаетъ —190° С., при нормальномъ давленіи можно безъ особыхъ мѣръ предосторожности сохранять въ жидкомъ видѣ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ. Жидкій воздухъ представляетъ изъ себя совершенно прозрачную жидкость, окрашенную въ нѣжно-голубой цвѣтъ. Окраска эта тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ меньше содержаніе азота. Вначалѣ, только-что полученный въ жидкомъ состояніи воздухъ бываетъ нѣсколько мутнымъ, молочно-бѣлаго цвѣта вслѣдствіе примѣси отвердѣвшей углекислоты, но послѣ фильтрованія черезъ бумагу муть совершенно исчезаетъ, а твердая углекислота отлагается въ видѣ осадка на фильтрѣ. Ртуть, будучи полита жидкимъ воздухомъ, смерзается въ твердые, какъ бы оловянные, комочки (въ такомъ видѣ ее можно обрабатывать на наковальнѣ); также легко можно заморозить спиртъ и эѳиръ. Замѣчательно вліяніе, оказываемое жидкимъ воздухомъ на упругія свойства нѣкоторыхъ тѣлъ, вслѣдствіе сильнаго охлажденія послѣднихъ. Каучукъ послѣ погруженія въ жидкій воздухъ можно толочь, какъ стекло. Нисколько не удивительно, что химическій составъ жидкаго воздуха не таковъ, какъ въ газообразномъ состояніи. Какъ извѣстно, въ газообразномъ состояніи на $^4/_5$ (по объему) азота приходится $^1/_5$ кислорода. Жидкій воздухъ оказывается богаче содержаніемъ кислорода: на каждую часть кислорода приходится только 2 части азота. Кромѣ того испареніе азота идетъ быстрѣе, такъ что, стоя открытымъ, жидкій воздухъ изобилуетъ содержаніемъ кислорода. Это легко показать, погружая чуть тлѣющую лучину въ сосудъ съ жидкимъ воздухомъ, гдѣ она ярко вспыхиваетъ. То обстоятельство, что сжиженіе воздуха сопровождается распаденіемъ составныхъ его частей и образованіемъ смѣси болѣе богатой содержаніемъ кислорода, такъ что аппаратъ Линде въ нѣсколько измѣненномъ видѣ могъ бы, пожалуй, явиться удобнымъ для фабричнаго добыванія кислорода изъ воздуха, открываетъ новые пути для развитія химическихъ производствъ.

Распространеніе теплоты. Теплота можетъ распространяться двояко, или путемъ теплопроводимости или лучеиспусканіемъ. Путемъ проводимости теплота передается въ тѣлѣ или отъ одного тѣла къ другому, при соприкосновеніи ихъ, отъ слоя къ слою, причемъ направляется постоянно отъ мѣстъ съ болѣе высокой температурой къ мѣстамъ болѣе низкой температуры. Обращаясь въ особый родъ лучистой энергіи, теплота можетъ также передаваться отъ одного тѣла къ другому непосредственно. Различныя тѣла не въ одинаковой мѣрѣ проводятъ теплоту. Это можетъ быть показано съ помощью прибора Ингенгуса (рис. 576). По одной изъ боковыхъ стѣнокъ продолговатаго металлическаго ящика сдѣланы отверстія, черезъ которыя проходятъ воткнутые въ пробку стержни различныхъ металловъ одинаковой длины и одного и того же сѣченія. Съ поверхности всѣ стержни покрываются тонкимъ слоемъ воска или стеарина и снизу къ нимъ прикрѣпляется цѣлый рядъ одинаковаго вѣса шариковъ, по возможности на равномъ разстояніи другъ отъ друга. Когда вода въ сосудѣ будетъ подвергнута нагрѣванію, шарики начнутъ отпадать одинъ за другимъ болѣе или

менѣе скоро, въ зависимости отъ того, хорошо или дурно изслѣдуемый стержень проводитъ теплоту. Болѣе подробныя изслѣдованія надъ теплопроводностью тѣлъ, произведенные Видеманомъ и Францемъ, установили интересную зависимость между теплопроводностью и электропроводностью, а именно, тѣла, хорошо проводящія электричество, являются въ то же время хорошими проводниками теплоты. Обозначая теплопроводность серебра числомъ 100, для другихъ веществъ мы получимъ слѣдующія относительныя величины: для мѣди, въ зависимости отъ чистоты матеріала, цѣлый рядъ чиселъ отъ 90—50, для цинка 30, для платины 10, для стекла 0,2.

Кристаллы обладаютъ неодинаковой проводимостью по различнымъ направленіямъ. *Если дотронемся раскаленной иглой до пластинки изъ горнаго* хрусталя, покрытой съ поверхности воскомъ, то послѣдній станетъ расплываться не въ формѣ кружка, какъ это было бы для изотропныхъ веществъ, а эллиптическимъ пятномъ. Это обстоятельство позволяетъ подозрѣвать существованіе какой-нибудь зависимости между скоростью распространенія свѣта въ различныхъ средахъ и ихъ теплопроводимостью.

Что касается проводимости жидкостей, то здѣсь нужно отличать явленіе теплопроводности отъ явленія переноса теплоты (конвекціи). Если жидкость нагрѣвается снизу, то происходитъ явленіе переноса теплоты. Болѣе теплыя частицы поднимаются вверхъ, а холодныя опускаются до дна. Поэтому только при нагрѣваніи жидкости сверху можно съ помощью термометровъ измѣрять и сравнивать теплопроводимость различныхъ жидкостей. Термометры вставляются при этомъ въ одну изъ боковыхъ стѣнокъ сосуда горизонтально одинъ подъ другимъ. Какъ показываютъ опытныя изслѣдованія, жидкости дурно проводятъ теплоту.

Еще худшими проводниками теплоты являются газы. Для изученія ихъ теплопроводимости употребляются такіе же сосуды, какъ и для жидкостей, при чемъ для устраненія вліянія переноса теплоты они заполняются пухомъ. По Магнусу, водородъ проводитъ теплоту лучше всѣхъ другихъ газовъ и приблизительно въ семь разъ лучше, нежели воздухъ.

Одно тѣло можетъ сообщать свою теплоту другимъ еще путемъ лучеиспусканія, т. е. вблизи поверхности даннаго тѣла можетъ происходить преобразованіе тепловой энергіи въ лучистую, вслѣдствіе чего возникаетъ волнообразное движеніе частицъ эѳира; если по пути является преграда движенію, то лучистая энергія снова нацѣло или только отчасти переходитъ въ тепловую.

Послѣ открытія Меллони явленія лучеиспусканія теплоты, предполагаемая теоріей волнообразнаго движенія эѳира, идентичность между свѣтовымъ и тепловымъ лучомъ была доказана экспериментально, какъ относительно явленій отраженія и преломленія, такъ точно дисперсіи и поляризаціи. Открытія эти шли быстро одно за другимъ.

Изслѣдуя разложенный призмой лучъ относительно распредѣленія въ немъ тепловой энергіи, нашли, что лучи меньшей преломляемости обладаютъ бо́льшей энергіей, такъ что самыми теплыми оказываются красные и ультракрасные лучи (въ части спектра, невидимой для глаза). Такъ какъ стекло обладаетъ большой поглощательной способностью относительно тепловыхъ лучей, то для изслѣдованія тепловыхъ лучей употребляютъ призмы и линзы изъ каменной соли, являющейся для нихъ веществомъ, почти абсолютно прозрачнымъ. Подобно тому, какъ различныя тѣла пропускаютъ лучи свѣта не въ одинаковомъ количествѣ, такъ же не въ одинакой мѣрѣ пропускаютъ они теплоту или, какъ говорятъ, различныя тѣла неодинаково теплопрозрачны. Металлы настолько же непрозрачны для теплоты, какъ и для лучей свѣта. Каменная соль по отношенію къ тепловымъ лучамъ является совершенно тѣмъ же, чѣмъ для свѣтовыхъ лучей — безцвѣтное прозрачное тѣло.

Растворъ квасцовъ и вода прозрачны для свѣта и почти непрозрачны для теплоты. Концентрированный растворъ іода въ сѣроуглеродѣ непрозраченъ для свѣта, тепловые желучи пропускаетъ очень хорошо. Лучеиспускательная способность не является величиной постоянной для данной температуры, что можетъ быть показано на опытѣ съ кубомъ Лесли. Такъ называется приборъ, представляющій изъ себя металлическій, въ формѣ куба, одна сторона котораго гладко отполирована, другая шероховата, третья выкрашена бѣлой краской, а четвертая покрыта сажей. При одинаковомъ нагрѣваніи закопченая поверхность испускаетъ болѣе тепловыхъ лучей, нежели шероховатая, эта больше, чѣмъ бѣлая, самой же меньшей лучеиспускательной способностью обладаетъ полированная. Такъ же, какъ для свѣтовыхъ лучей, тѣ тѣла, которыя сильно поглощаютъ теплоту, обладаютъ и наибольшей лучеиспускательной способностью.

Для измѣренія лучеиспускательной способности употребляются два измѣрительныхъ прибора, описаніе которыхъ читатель найдетъ въ отдѣлѣ объ электричествѣ — термомультипликаторъ и болометръ.

Съ помощью послѣдняго прибора, дѣйствіе котораго основано на измѣненіи электрическаго сопротивленія зачерненной проволоки вслѣдствіе нагрѣ-



577. Солнечный тепловой спектръ.

ванія ея подъ вліяніемъ тепловыхъ лучей, Лэнглей подробно изслѣдовалъ тепловой спектръ солнца. Онъ нашелъ, что послѣдній распространяется далеко за границу видимаго спектра свѣтовыхъ лучей. Въ ультрафіолетовой части можно обнаружить тепловое дѣйствіе лучей съ длиной волны въ 0,3 μ (микрона), а въ ультра-красной до 3 μ. Максимальное дѣйствіе замѣчается въ желтой полосѣ, вблизи Фрауэнгоферовой линіи *D*. Полученный Лэнглеемъ спектръ тепловыхъ лучей солнца представленъ на рис. 577. Какъ легко замѣтить, *пространство, занимаемое спектромъ невидимыхъ тепловыхъ лучей* за линіей *A*, почти въ 6 разъ превосходитъ полосу отъ линіи *H* до *A*. Съ помощью болометра были также изучены спектры луны и другихъ небесныхъ тѣлъ, *какъ свѣтящихся, такъ и темныхъ*. *Подобныя наблюденія производились* за послѣднее время неоднократно. Съ помощью линзъ и призмъ изъ каменной соли, сильвина и плавиковаго шпата удалось обнаружить дѣйствіе тепловыхъ лучей, длина волны которыхъ доходила до 20 μ.

Теплота въ природѣ. Спускаясь въ глубь земной коры, мы будемъ наблюдать постепенное повышеніе температуры: приблизительно 1° С. на каждые 30 м. Бьющіе съ большой глубины артезіанскіе колодцы подтверждаютъ сдѣланное замѣчаніе. Это все заставляетъ предположить, что высокая температура горячихъ ключей и расплавленное состояніе лавы вулкановъ обусловлены только значительной глубиной, съ какой выбрасываются эти изверженія. Повышеніе температуры на большой глубинѣ идетъ нѣсколько медленнѣе, нежели въ поверхностномъ слоѣ, но съ такимъ постоянствомъ, которое наводитъ на мысль о существованіи области, гдѣ вещество земли

еще не успѣло принять той твердой формы, какую оно имѣетъ на поверхности, а представляетъ изъ себя до сихъ поръ жидкую огненную массу вплоть до самаго центра земли. Въ такомъ видѣ наша планета подобна исполинской каплѣ расплавленнаго вещества, окутанной сравнительно весьма тонкимъ слоемъ твердой матеріи. Шарообразная форма всѣхъ небесныхъ свѣтилъ является указаніемъ на то, что процессъ образованія ихъ совершенно аналогиченъ. Причину образованія такой, а не иной формы нужно искать въ присущемъ всѣмъ планетамъ быстромъ вращательномъ движеніи вокругъ оси.

Огромное количество теплоты, дѣйствіемъ котораго вызвано огненно-жидкое состояніе земного ядра, получается, какъ слѣдствіе химическихъ соединеній и уплотненія частицъ подъ вліяніемъ механическихъ силъ. Въ первобытныя времена матерія вселенной наполняла необъятныя пространства въ видѣ безформенной массы составныхъ элементовъ, обладавшихъ отталкивательными и притягательными свойствами, и разбросанныхъ въ хаотическомъ безпорядкѣ. Въ извѣстные моменты въ нѣсколькихъ опредѣленныхъ пунктахъ произошло, повидимому, нарушеніе равновѣсія между притягательными и отталкивательными силами, слѣдствіемъ чего явилось образованіе въ хаосѣ вселенной сложныхъ частицъ, распространившееся на извѣстный районъ. Всѣ частицы извѣстнаго района, поддавшись силѣ взаимнаго притяженія, образовали тѣльца, которыя должны были принять огненножидкое состояніе вслѣдствіе выдѣленія теплоты при соединеніи отдѣльныхъ атомовъ въ молекулы и образованія болѣе уплотненной матеріи. При дальнѣйшемъ процессѣ уплотненія подъ вліяніемъ внѣшняго охлажденія образовались тѣла большихъ размѣровъ, которыя, принявъ форму расплавленныхъ капель, отдѣлились отъ космической пыли и стали плавать въ пустомъ пространствѣ. Мы можемъ думать, что всѣ явленія, вызванныя нарушеніемъ равновѣсія, шли далѣе совершенно самостоятельно, благодаря возникновенію особой формы вихревого движенія, явившагося впослѣдствіи причиной вращательнаго движенія вокругъ оси.

Безконечное міровое пространство за предѣлами нашей атмосферы имѣетъ весьма низкую температуру, — значительно ниже температуры самой суровой зимней стужи. Какъ позволяютъ заключить данныя различныхъ наблюденій, температура эта не выше 60° С., а, весьма вѣроятно, еще значительно ниже. Тѣла болѣе теплыя, при соприкосновеніи съ холодными, отдаютъ имъ свою теплоту. Слѣдовательно, температура огненножидкаго ядра небесныхъ тѣлъ должна была постепенно понижаться, и пониженіе ея шло тѣмъ быстрѣе, чѣмъ меньше размѣры планеты. Охлажденіе, вызванное излученіемъ теплоты съ поверхности, способствовало возникновенію твердаго поверхностнаго слоя, который, постепенно утолщаясь, образовалъ то, что называютъ корой небесныхъ тѣлъ. Для тѣлъ малыхъ размѣровъ, такихъ, напримѣръ, какъ луна, представляющая, какъ извѣстно, сплошь застывшую массу, процессъ этотъ совершается съ большой быстротой, у большихъ небесныхъ свѣтилъ онъ идетъ значительно медленнѣе, такъ что центръ нашей вселенной, солнце, до сихъ поръ еще не покрылся корой; съ образованіемъ ея прекратился бы къ намъ доступъ лучей свѣта и теплоты. Кромѣ солнца и луны всѣ другія планеты системы находятся въ промежуточномъ состояніи, сохраняя внутри себя живой очагъ огня, но поверхностный слой ихъ уже охладѣлъ. Что касается земли, то здѣсь пониженіе температуры достигло той степени, когда трата лучеиспусканіемъ въ міровое пространство покрывается прибылью тепла, получаемаго отъ солнца. Въ теченіе 2000 лѣтъ, до настоящаго времени, балансъ теплоты на земномъ шарѣ остается неизмѣннымъ. Діаметръ земли за это время, какъ показываютъ точнѣйшія астрономическія наблюденія, не измѣнился замѣтнымъ образомъ, а такое измѣненіе непремѣнно имѣло бы мѣсто даже при пониженіи температуры ядра на самую малую долю градуса.

Сколько времени длится такое состояніе равновѣсія и какъ великъ вообще можетъ быть промежутокъ времени, который можемъ назвать „періодомъ нашего существованія"? — на этотъ вопросъ можно отвѣтить только, что онъ не безконеченъ. Всѣ планеты солнечной системы платятъ вѣчно напоминающему о себѣ требователю, холоду, не проценты съ капитала, а тратятъ самый капиталъ. Какъ бы великъ онъ ни былъ, онъ все же не неисчерпаемъ. Поверхность солнца когда-нибудь покроется корой, и оно перестанетъ снабжать планеты теплотой въ такомъ же изобиліи. Хотя далекъ, но придетъ все же часъ всеобщаго упокоенія, какъ это ни кажется маловѣроятнымъ для человѣческаго сознанія. Когда прекратится движеніе луны и она упадетъ на землю, произойдетъ огромное увеличеніе тепловой энергіи, и жизнь вселенной еще продлится на нѣкоторое время; но это будетъ только кратковременной отсрочкой. Настанетъ время, когда всѣ солнца (центры различныхъ системъ) соединятся, и вся матерія міровъ сплотится воедино подъ дѣйствіемъ взаимнаго притяженія отдѣльныхъ частей.

Что же станется тогда съ силами природы, которыми держится жизнь? Куда направятся волны свѣтовыхъ и электрическихъ колебаній? Прекратится ли дѣйствіе причины, вызывающей магнитныя явленія и на что израсходуется такое огромное количество тепла? Отвѣтъ таковъ: всѣ силы природы — тяготѣніе, свѣтъ, электричество и магнитизмъ — преобразуются въ теплоту, которая будетъ равномѣрно распредѣлена по всему міровому пространству. Всюду установится одна и та же температура; не будетъ различія между холоднымъ и теплымъ, свѣтлымъ и темнымъ; не будетъ больше движенія, не будетъ перемѣны состояній, не будетъ борьбы, — всюду будетъ царствовать миръ и невозмутимый покой; но тогда не будетъ и жизни, такъ какъ „источникъ жизни въ борьбѣ".

О магнитизмѣ.

Естественный магнитъ. Искусственные магниты. Основныя магнитныя явленія. Компасъ. Теоріи раздѣленія и вращенія. Законъ Кулона. Единица количества магнитизма. Магнитное поле и его напряженность. Силовыя линіи. Магнитный моментъ. Напряженность намагничиванія. Удѣльный магнитизмъ. Магнитная индукція. Гистерезисъ. Вліяніе температуры на магнитизмъ.

Въ природѣ существуетъ черноватый невзрачный камень, обладающій, однако, замѣчательными свойствами, дѣлающими его и полезнѣе и интереснѣе даже драгоцѣннаго алмаза. Если опустить этотъ камень въ желѣзныя опилки, то эти опилки въ большомъ количествѣ пристанутъ къ нему, въ видѣ кисточекъ, преимущественно на двухъ противоположныхъ мѣстахъ его поверхности. И если мы помѣстимъ этотъ камень на какое-нибудь тѣло, плавающее на водѣ (пробку, деревяжку), то замѣтимъ, что тѣло это, какъ бы мы его ни повернули, всегда будетъ стремиться принять одно и то же опредѣленное положеніе такъ, что одна извѣстная сторона камня будетъ направлена къ сѣверу, а другая къ югу. Это именно тѣ двѣ стороны, къ которымъ въ наибольшемъ количествѣ пристаютъ желѣзныя опилки. Минералъ этотъ, который мы называемъ магнитомъ или магнитнымъ камнемъ и есть не что иное, какъ извѣстная магнитная руда, направляющая сила которой, подобно нити Аріадны, показываетъ путь кораблю ночью или во время тумана на *безграничномъ пространствѣ морей и ведетъ его такъ же вѣрно, какъ бы онъ* находился на проложенной дорогѣ.

Подъ **магнитизмомъ** подразумѣвается совокупность магнитныхъ явленій и ихъ причинъ, **магнитомъ** же вообще называется тѣло, которое притягиваетъ и можетъ удержать небольшіе куски желѣза, если, конечно, они не слишкомъ тяжелы для него. Смотря по тому, обладаетъ ли тѣло этими

свойствами притягиванія отъ природы, или же они сообщены ему искусственнымъ образомъ, различаютъ два рода магнитовъ — естественные и искусственные. Къ первымъ принадлежитъ, между прочимъ, упомянутый уже магнитный желѣзнякъ, состоящій изъ соединенія окиси желѣза съ желѣзной закисью. Онъ отличается по составу отъ обыкновенной желѣзной ржавчины только тѣмъ, что содержитъ въ себѣ меньшее количество кислорода. Названіе магнитъ происходитъ отъ лидійскаго города Магнезіи, въ близлежащихъ рудникахъ котораго онъ былъ найденъ. Раньше онъ назывался также лидійскимъ камнемъ, камнемъ Геркулеса и т. п. и употреблялся еще жрецами древнихъ народовъ для ихъ таинственныхъ обрядовъ.

Лукрецій разсказываетъ о желѣзныхъ кольцахъ, подвѣшенныхъ къ потолку храма и поддерживающихъ одинъ другого единственно благодаря только притягательнымъ силамъ въ мѣстахъ ихъ прикосновенія. Разсказывали о большихъ магнитныхъ скалахъ, находящихся среди океановъ, которыя съ дальнихъ разстояній притягивали къ себѣ всякіе желѣзные предметы и неудержимо отклоняли корабли съ ихъ пути прежде, чѣмъ можно было подозрѣвать опасную близость этихъ подводныхъ скалъ. Подобные миѳы, служившіе большимъ препятствіемъ мореплаванію, держались довольно долгое время; между тѣмъ та же самая сила, которую когда-то считали столь опасной и гибельной, является теперь надежнымъ проводникомъ, путеводной звѣздой и способствуетъ географическимъ изслѣдованіямъ. Въ Европѣ въ древнія времена удивлялись только притягательной силѣ магнита, тогда какъ китайцы за XIX вѣковъ до нашего лѣтосчисленія пользовались уже магнитными телѣжками, на которыхъ поставлены были фигуры, обращавшіяся всегда на югъ и такимъ образомъ указывавшія имъ путь въ необозримыхъ степяхъ. Въ III вѣкѣ послѣ Р. Х. китайцы примѣняли уже магнитную стрѣлку, подвѣшенную на шелковинкѣ; у западныхъ же народовъ и, вѣроятно, прежде всего въ странахъ приморскихъ, на сѣверѣ, подвѣшивали на ниткѣ просто магнитный камень или же устанавливали такой камень на дощечку, плававшую на спокойной поверхности воды. Въ написанномъ въ 1180 году старофранцузскомъ романѣ „О розѣ“ магнитъ подразумѣвается подъ названіемъ Маринетты, откуда можно заключить, что магнитъ тогда употреблялся на морѣ. Надо полагать, что мы узнали отъ китайцевъ объ употребленіи магнитной стрѣлки благодаря Марко Поло, знаменитому итальянскому путешественнику. Собственно же открытіе примѣненія направляющей силы магнита приписывается нѣкоему неаполитанцу Флавію Гіоя (Flavio Gioja, 1300 г.). Такъ какъ магнитомъ пользовались преимущественно путешественники, то сѣверные народы называли его путеводнымъ камнемъ. Возможно, что магнитъ былъ найденъ очень давно въ Норвегіи и Швеціи. Находится магнитный желѣзнякъ не только въ Лидіи, но также въ большомъ количествѣ и въ другихъ странахъ, напр. въ Сибири, на Уралѣ, въ Англіи, на Гарцѣ, въ Сициліи и т. д. и служитъ лучшей рудой для добыванія желѣза. Притягательную силу естественнаго магнита можно значительно увеличить, если приложить къ двумъ противоположнымъ сторонамъ его, заключающимъ полюсы, по желѣзной полоскѣ съ выступающими и утолщенными концами. Эти два конца соединены между собой желѣзнымъ брускомъ, называемымъ *якоремъ*. Оправленный такимъ образомъ магнитъ можетъ удерживать грузъ, въ двѣсти разъ превышающій вѣсомъ его самого (рис. 578).

Искусственные магниты. Магнитныя свойства можно сообщить искусственнымъ образомъ нѣкоторымъ другимъ тѣламъ. Въ *желѣзѣ*, *стали*, *никкелѣ*, *кобальтѣ* могутъ быть вызваны магнитныя свойства, временныя или постоянныя, или подъ вліяніемъ вблизи находящагося магнита, или посредствомъ натиранія однимъ или двумя магнитами, или помощью гальваническаго тока. По формѣ различаютъ магниты стержневые, подковообразные

и кольцевые. Нѣсколько магнитовъ, надлежащимъ образомъ соединенныхъ вмѣстѣ, называются **магнитнымъ магазиномъ** или пластинчатымъ магнитомъ (рис. 579).

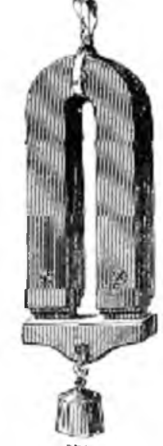
Электромагнитомъ называется приборъ, состоящій изъ желѣзнаго стержня, окруженнаго спиральной проволокой, по которой пропускается гальваническій токъ; одна же спиральная проволока, черезъ которую проходитъ токъ, безъ желѣзнаго сердечника, называется **соленоидомъ**. Магнитныя



578. Магнитъ.

дѣйствія, какъ мы уже говорили, не во всѣхъ точкахъ поверхности магнита проявляются съ одинаковой силой; вообще *они сосредоточиваются, главнымъ образомъ, въ двухъ мѣстахъ*, между которыми находится всегда такое мѣсто, въ которомъ вовсе не обнаруживается притяженія желѣза; въ магнитномъ стержнѣ такое мѣсто находится посерединѣ его, въ подковообразномъ же магнитѣ оно приходится на самомъ сгибѣ. Если опустить магнитъ, естественный или искусственный, въ желѣзныя опилки, то, по вынутіи его изъ нихъ, опилки окажутся приставшими преимущественно на концахъ, тогда какъ посерединѣ ихъ вовсе не будетъ. Мѣста дѣйствія называютъ **полюсами** магнита, а промежуточное мѣсто, гдѣ магнитныя дѣйствія не обнаруживаются, **нейтральной зоной** или **поясомъ безразличія**, или также **магнитнымъ экваторомъ**. Въ извѣстныхъ случаяхъ, при неравномѣрномъ намагничиваніи, магнитъ можетъ *имѣть и болѣе двухъ полюсовъ; но вообще въ магнитѣ только два полюса.*

Магнитныя основныя явленія. Подъ полюсами обыкновенно подразумѣваютъ центры силъ, хотя, строго говоря, это опредѣленіе допустимо только въ случаѣ очень длиннаго, тонкаго, равномѣрно и продольно намагниченнаго стержня. *Линія, соединяющая оба полюса, носитъ названіе магнитной оси.*



579. Подковообразный магнитъ.

Какъ уже упоминалось, одинъ полюсъ свободно подвѣшеннаго магнита обращенъ къ сѣверу, а другой къ югу. Первый поэтому называютъ **сѣвернымъ** или **положительнымъ** полюсомъ, а другой **южнымъ** или **отрицательнымъ**.

Сѣверный полюсъ одного магнита притягиваетъ южный полюсъ другого магнита и отталкиваетъ его сѣверный полюсъ; *отсюда вытекаетъ слѣдующій основной законъ: одноименные магнитные полюсы взаимно отталкиваются, а разноименные притягиваются.*

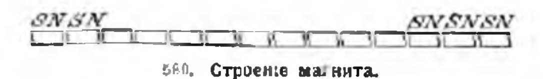
Самую землю поэтому можно разсматривать какъ большой магнитъ, *южный полюсъ котораго находится вблизи географическаго сѣвернаго полюса, а сѣверный вблизи географическаго южнаго полюса.* Естественнѣе было бы считать сѣвернымъ тотъ магнитный полюсъ земли, который лежитъ въ сѣверномъ полушаріи, но тогда пришлось бы называть южнымъ тотъ полюсъ магнита, который обращенъ къ сѣверу. Первое обозначеніе общеупотребительно.

Внутреннее строеніе магнита. Теоріи раздѣленія и вращенія. Магнитизмъ принадлежитъ къ числу молекулярныхъ явленій. Если *разломить пополамъ длинный магнитный стержень*, то обѣ его половины представятъ каждая самостоятельный магнитъ съ полюсами и нейтральной зоной. Разломавъ каждую эту половину на двѣ части, мы снова получимъ полные магниты; на какія бы мелкія части мы ни разломали магнитъ, каждая часть окажется полнымъ магнитомъ съ двумя полюсами. Мы приходимъ отсюда къ заключенію, *что каждый магнитъ состоитъ изъ магнитныхъ молекулъ.*

Для объясненiя магнитныхъ явленiй предложены двѣ теорiи, именно **теорiи раздѣленiя и вращенiя**. Теорiя раздѣленiя, созданная, главнымъ образомъ, Кулономъ (Coulomb), принимаетъ за причину магнитизма двѣ магнитныя матерiи, двѣ невѣсомыя жидкости, обладающiя противоположными свойствами, почему онѣ и называются сѣверо- и южно-магнитными, или положительной и отрицательной магнитными жидкостями. При этомъ предполагается, что въ каждой молекулѣ магнитнаго тѣла находятся обѣ магнитныя жидкости въ равныхъ количествахъ. При намагничиванiи тѣла обѣ жидкости въ молекулѣ раздѣляются и скопляются на противоположныхъ концахъ молекулы. Чѣмъ больше намагничивающая сила, тѣмъ совершеннѣе это раздѣленiе. Взаимному соединенiю раздѣленныхъ жидкостей мѣшаетъ такъ называемая **задерживательная сила**, особенно большая въ твердой закаленной стали и незначительная въ мягкомъ желѣзѣ.

Слѣдовательно, мягкое желѣзо легче намагничивается, чѣмъ твердая сталь. Но зато, когда прекратится намагничивающая сила, мягкое желѣзо очень скоро теряетъ свои магнитныя свойства, тогда какъ въ стали они сохраняются. Эти свойства желѣза и стали можно сравнить съ памятью. Желѣзу соотвѣтствуетъ **memoria capax**, быстро схватывающая, но такъ же быстро и утрачивающая воспринятое; стали же уподобляется **memoria tenax**, съ трудомъ воспринимающая, но зато и надолго удерживающая.

По **вращательной теорiи**, установленной и разработанной преимущественно Вильгельмомъ Веберомъ, принимается каждая молекула магнитнаго



560. Строение магнита.

561. Магнитная стрѣлка.

тѣла за отдѣльный магнитъ; съ самаго начала предполагается, слѣдовательно, что магнитныя жидкости въ молекулѣ постоянно находятся въ раздѣльномъ состоянiи. Пока тѣло не намагничено, оси такихъ молекулярныхъ магнитовъ расположены безразлично во всѣ стороны, почему тѣло и не производитъ внѣшнихъ магнитныхъ дѣйствiй. Дѣйствiе же намагничиванiя заключается въ томъ, что всѣ молекулы поворачиваются, и оси молекулярныхъ магнитовъ становятся параллельными другъ другу, причемъ всѣ сѣверные полюсы обращаются въ одну сторону, а южные въ другую. Такое поворачиванiе совершается тѣмъ легче и совершеннѣе, чѣмъ меньше внутреннее сопротивленiе или тренiе.

Теорiя магнитнаго вращенiя въ настоящее время обыкновенно и принимается для объясненiя магнитныхъ явленiй. Помощью ея легко объясняются, между прочимъ, удлиненiя желѣзнаго стержня при его намагничиванiи, звучанiе такого стержня при перемѣнномъ быстромъ намагничиванiи и размагничиванiи, а также предѣльное магнитное насыщенiе и т. п.

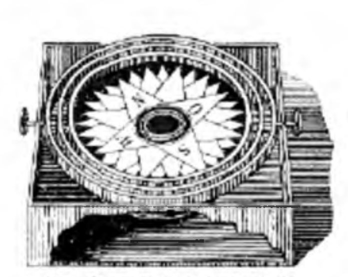
Вообще магнитное распредѣленiе и внѣшнiя дѣйствiя магнита очень сложны и трудно опредѣлимы. Въ частномъ же случаѣ, для достаточно длиннаго и тонкаго магнитнаго стержня, который можетъ разсматриваться какъ послѣдовательный рядъ молекулярныхъ магнитовъ, внѣшнее магнитное дѣйствiе сводится къ обоимъ крайнимъ полюсамъ, заключающимъ въ себѣ свободный магнитизмъ.

Компасъ или буссоль. Самое древнее и вмѣстѣ съ тѣмъ важное примѣненiе магнитовъ заключается въ пользованiи магнитной стрѣлкой (рис.

581), какъ указателемъ направленія и пути. Ею пользуются не только мореплаватели, но и инженеры при различныхъ съемкахъ и измѣреніяхъ, какъ на поверхности земли, такъ и внутри земли, въ горныхъ шахтахъ; примѣняютъ ее также геологи, астрономы и физики въ своихъ разнообразныхъ изслѣдованіяхъ. Приборы съ магнитными стрѣлками, сообразно цѣли ихъ примѣненія, устраиваются различнаго вида и носятъ различныя названія. Въ иныхъ приборахъ магнитная стрѣлка подвѣшивается на тонкой нити, въ другихъ же поддерживается снизу стальной иглой. Уголъ, составляемый ею съ нѣкоторымъ опредѣленнымъ направленіемъ, отсчитывается помощью круга съ мелкими дѣленіями.

На рис. 582 представлена буссоль въ томъ видѣ, какъ она обыкновенно употребляется при полевыхъ съемкахъ. Она состоитъ изъ круга, раздѣленнаго на полуградусы, въ центрѣ котораго находится шпенекъ, поддерживающій магнитную стрѣлку. Все это помѣщается въ круглой цилиндрической коробкѣ K со стеклянной крышкой; прикрѣплена коробка къ штативу и снаб-


582. Полевой компасъ.


583. Корабельный компасъ.

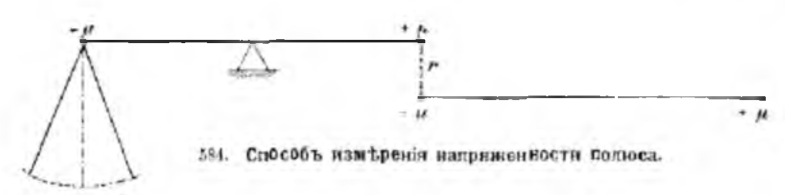
жена двумя діоптрами DD или же зрительной трубкой съ перекрестными нитями, для визированія на опредѣленную точку.

Корабельный компасъ состоитъ, главнымъ образомъ, изъ картоннаго круга, къ которому прикрѣплены симметрично относительно его центра отъ 2 до 8 небольшихъ магнитовъ (рис. 583). Кругъ этотъ, на которомъ указаны 32 равноотстоящія направленія, поддерживается на остріи помощью агатовой шляпки, вдѣланной въ его серединѣ; посредствомъ особаго штифта кругъ можетъ быть закрѣпленъ неподвижно, когда имъ не пользуются для наблюденій во время хода корабля. Для избѣжанія вліянія качки компасъ подвѣшенъ посредствомъ такъ называемаго кардановскаго приспособленія, состоящаго изъ двухъ вставленныхъ одно въ другое колецъ, могущихъ вращаться около двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей. Для приданія большей устойчивости въ коробку компаса наливается иногда спиртъ или глицеринъ. Такіе жидкіе или плавающіе компасы введены, между прочимъ, въ германскомъ флотѣ.

Законъ Кулона. Единица количества магнитизма. Количество магнитизма, заключающееся въ магнитномъ полюсѣ, измѣряется посредствомъ дѣйствія, оказываемаго имъ на полюсъ другого магнита. Два количества магнитизма принимаются одинаковыми, когда они оказываютъ съ одного и того же разстоянія тождественныя дѣйствія на какой-либо одинъ и тотъ же магнитъ; они равны, но противоположныхъ знаковъ, если съ одного и того же разстоянія дѣйствуютъ на данный магнитъ противоположнымъ образомъ относительно направленія, но одинаково по величинѣ. Количество μ магнитизма въ n разъ больше количества μ_1, если дѣй-

ствіе μ на нѣкоторый магнитъ въ n разъ больше, чѣмъ дѣйствіе μ_1 при тѣхъ же условіяхъ.

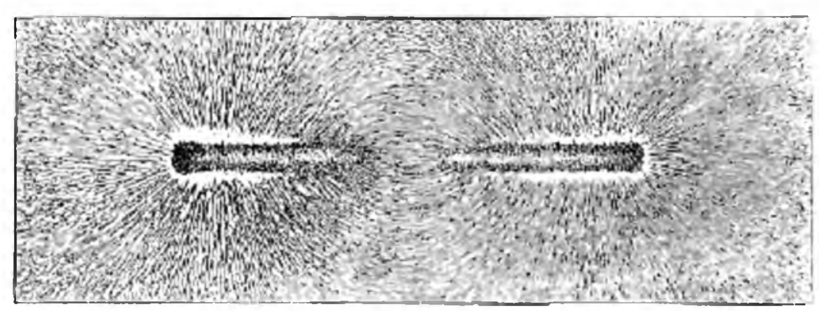
Если мы представимъ себѣ очень длинный и тонкій магнитный стержень, полюсы котораго заключаютъ въ себѣ $+\mu$ и $-\mu$ количества магнитизма, причемъ стержень этотъ подпертъ посерединѣ и, кромѣ того, предположимъ, что подъ полюсомъ его $+\mu$ на разстояніи r помѣщенъ полюсъ $-\mu$ другого такого же стержня, какъ это показано на рис. 584, то, вслѣдствіе взаимнаго притяженія, первый изъ нихъ опустится; но подвижной стержень можно привести въ первоначальное положеніе, подвѣсивъ къ концу его ($-\mu$) соотвѣтственныя гири, вѣсъ которыхъ зависитъ какъ отъ величины μ, такъ



584. Способъ измѣренія напряженности полюса.

и отъ разстоянія r; мы имѣемъ, такимъ образомъ, возможность выразить величину μ въ абсолютной мѣрѣ.

Количественныя соотношенія магнитныхъ притяженій и отталкиваній были опредѣлены Кулономъ (Coulomb) посредствомъ такъ называемыхъ крутильныхъ (Кулоновыхъ) вѣсовъ въ примѣненіи магнитныхъ стержней такой длины, чтобы при изслѣдованіи дѣйствія одного полюса можно было пренебречь вліяніемъ второго полюса. Опыты привели къ важному закону, по

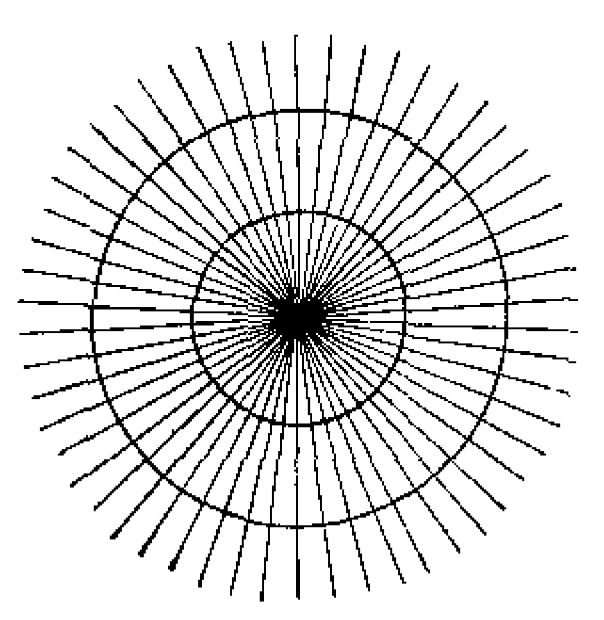

585. Силовыя линіи магнита.

которому два количества магнитизма, сосредоточенныя какъ бы въ полюсахъ, дѣйствуютъ другъ на друга въ направленіи линіи, ихъ соединяющей, причемъ величина силы взаимодѣйствія пропорціональна произведенію изъ обоихъ количествъ и обратно пропорціональна квадрату разстоянія между полюсами.

За единицу количества свободнаго магнитизма или, что то же, за единицу напряженности магнитнаго полюса принимается то количество магнитизма, сосредоточенное въ полюсѣ, которое на такое же количество магнитизма другого полюса на разстояніи единицы дѣйствуетъ съ силой, равной единицѣ. Поэтому въ такъ наз. абсолютной системѣ (сантиметръ, граммъ, секунда или C. G. S.) единицей количества свободнаго магнитизма будетъ такое количество, которое на разстояніи въ 1 см. дѣйствуетъ на равное ему количество магнитизма съ силою, равною одной динѣ (т.-е. съ силою, равною немного больше вѣса 1 миллиграмма). Въ нашемъ (рис. 584) примѣрѣ, слѣдовательно, магнитные полюсы обладали бы по единицѣ количества магнитизма, если бы разстояніе

между ними r было равно 1 см. и для возстановленія равновѣсія пришлось бы положить на чашку немножко больше 1 мгр.

Магнитное поле. Напряженность поля. Подъ магнитнымъ полемъ подразумѣваютъ то пространство, въ различныхъ мѣстахъ котораго могутъ быть обнаружены магнитныя дѣйствія. Всякое пространство вблизи земной поверхности можно поэтому разсматривать какъ магнитное поле. Вообще всякій магнитъ образуетъ вокругъ себя магнитное поле. *Направленіе и величина магнитной силы, дѣйствующей на какой-либо полюсъ,* различны вообще въ каждой точкѣ поля. Если вообразить себѣ поэтому магнитный полюсъ настолько незначительной силы, что онъ своимъ присутствіемъ не измѣняетъ замѣтнымъ образомъ магнитнаго поля, то онъ, вслѣдствіе притягательныхъ или отталкивательныхъ силъ поля на него, станетъ двигаться въ полѣ по нѣкоторому вообще криволинейному пути, касательная къ которому въ любой точкѣ совпадаетъ съ направленіемъ магнитной силы. Такія кривыя линіи, по предложенію Фарадэя, называютъ силовыми линіями. Можно составить себѣ понятіе о видѣ и распредѣленіи такихъ линій посредствомъ извѣстнаго опыта: если наложить на магнитъ бумажный листъ, на который насыпать мелкія желѣзныя опилки, то при легкомъ встряхиваніи опилки расположатся нитеобразно по направленію силовыхъ линій (рис. 585).



585. Силовыя линіи.

Такія силовыя линія MM должно себѣ воображать, по предложенію Фарадэя (и безъ *желѣзныхъ опилокъ*), въ каждомъ магнитномъ полѣ, вызванномъ присутствіемъ магнита. Представленіе о силовыхъ линіяхъ облегчаетъ изслѣдованіе магнитнаго поля и дѣйствій, въ немъ происходящихъ. Теорія силовыхъ линій играла значительную роль въ развитіи современной электротехники. Въ математической физикѣ доказывается, что чѣмъ дальше въ пространствѣ удаляются другъ отъ друга силовыя линіи, тѣмъ слабѣе становятся магнитныя дѣйствія поля или, другими словами, что напряженность поля въ данномъ мѣстѣ пропорціональна числу линій силъ, проходящихъ черезъ единицу поверхности.

Упомянутый опытъ съ желѣзными опилками показываетъ, дѣйствительно, что кривыя линіи тѣмъ дальше отстоятъ другъ отъ друга, чѣмъ больше удаляются онѣ отъ полюсовъ. Мы можемъ принять за единицу напряженности поля такую напряженность равномѣрнаго магнитнаго поля, черезъ единицу поверхности котораго, т.-е. черезъ квадратный сантиметръ, проходитъ перпендикулярно всего одна силовая линія. Чтобы опредѣлить число силовыхъ линій, исходящихъ звѣздообразно изъ полюса μ, вообразимъ себѣ шаровую поверхность радіуса r, въ центрѣ которой находится данный полюсъ; полюсъ 1 (со знакомъ, противоположнымъ μ) въ любой точкѣ этой поверхности на основаніи закона Кулона будетъ притягиваться къ полюсу μ съ силою $\frac{\mu \cdot 1}{r^2}$, служащей мѣрою напряженности поля на поверхности шара; отсюда слѣдуетъ, что черезъ единицу шаровой поверхности будетъ проходить изъ полюса число силовыхъ линій, равное также $\frac{\mu \cdot 1}{r^2}$. Такъ какъ величина шаровой поверхности $= 4\pi r^2$, то общее число силовыхъ линій, исходящихъ изъ магнитнаго полюса $\mu = 4\pi r^2 \frac{\mu}{r^2} = 4\pi\mu$. Если бы разсматриваемый

полюсъ былъ равенъ единицѣ, т.-е. $\mu = 1$, то изъ него исходило бы 4π силовыхъ линій.

Если равнодѣйствующая магнитныхъ силъ во всѣхъ точкахъ магнитнаго поля постоянна какъ по величинѣ, такъ и по направленію, то такое поле называется **равномѣрнымъ**; силовыя линіи однороднаго магнитнаго поля составляютъ равно отстоящія параллельныя прямыя линіи. Пространство, занимаемое комнатой лабораторіи, въ которой нѣтъ большихъ желѣзныхъ массъ, можетъ быть разсматриваемо какъ однородное поле земного магнитизма. Если повѣсить въ такой комнатѣ нѣсколько магнитныхъ стрѣлокъ въ такихъ разстояніяхъ одна отъ другой, чтобы онѣ не вліяли другъ на друга замѣтнымъ образомъ, то всѣ онѣ расположатся въ одномъ и томъ же направленіи, параллельно между собою. Направленія магнитныхъ стрѣлокъ укажутъ направленія силовыхъ линій въ данномъ случаѣ.

Напряженность поля въ любой точкѣ магнитнаго поля измѣряется силою, дѣйствующею въ этомъ мѣстѣ на полюсъ 1. Вообще, эта сила P пропорціональна напряженности H поля въ данной точкѣ и напряженности полюса μ; можно принять $P = H\mu$; откуда $H = \frac{P}{\mu}$.

Положивъ въ этомъ уравненіи $P = 1$ (единица силы) и $\mu = 1$ (единица магнитнаго полюса), мы получимъ $H = 1$. Отсюда получается слѣдующее опредѣленіе единицы напряженности магнитнаго поля: напряженность въ нѣкоторой точкѣ магнитнаго поля равна единицѣ, когда въ ней на полюсъ 1 дѣйствуетъ сила 1, т.-е. одна дина (равная вѣсу почти одного миллиграмма). Въ новѣйшее время предложено единицу напряженности магнитнаго поля называть **гауссомъ**.

587.

Магнитный моментъ. Если въ равномѣрное магнитное поле ввести подвижный магнитный стержень съ полюсами $+\mu$ и $-\mu$, отстоящими другъ отъ друга на разстояніе $2\,l$, то на оба полюса поле будетъ дѣйствовать противоположно; образуется при этомъ пара силъ, стремящаяся повернуть магнитъ въ направленіи силовыхъ линій.

Предположимъ, что магнитная ось была сперва перпендикулярна къ силовымъ линіямъ (рис. 587); въ такомъ случаѣ моментъ пары силъ будетъ равенъ $P.2\,l$, причемъ P есть сила, дѣйствующая на каждый полюсъ. Эта же сила P, по предыдущему, равна произведенію изъ μ и напряженности поля H, т.-е. $P = \mu\,.\,H$.

Моментъ вращенія D пары силъ равенъ, слѣдовательно, $2\,l\,.\,\mu\,H$.

Произведеніе $\mu\,.\,2\,l$ изъ напряженности полюса μ на разстояніе $2\,l$ между полюсами называется **магнитнымъ моментомъ**.

Единица магнитнаго момента соотвѣтствуетъ тому магниту, напряженность каждаго полюса котораго равняется единицѣ, и разстояніе между полюсами равно единицѣ.

Магнитный моментъ составляетъ одно изъ главнѣйшихъ понятій ученія о магнитизмѣ.

Напряженность намагниченія. Представимъ себѣ, что равномѣрно намагниченный стержень переломленъ посерединѣ; тогда напряженность полюсовъ обоихъ полученныхъ магнитовъ останется прежнею, но магнитнымъ моментомъ каждый изъ нихъ будетъ обладать вдвое меньшимъ, чѣмъ раньше, у первоначальнаго длиннаго магнита. Положимъ теперь, что первоначальный магнитъ былъ раздѣленъ пополамъ по его длинѣ; тогда

напряженность полюсовъ новыхъ двухъ магнитовъ будетъ въ два раза меньшею, а слѣдовательно, и магнитный моментъ каждаго изъ нихъ станетъ *вдвое меньшимъ, чѣмъ былъ раньше. Вообще магнитный моментъ какой-либо* части равномѣрно намагниченнаго магнита относится къ магнитному моменту цѣлаго магнита какъ объемъ разсматриваемой части къ объему всего магнита. Поэтому о магнитномъ состояніи тѣла можно судить по соотвѣтствующему единицѣ объема его магнитному моменту. Эта величина и носитъ названіе напряженности намагниченія. Слѣдовательно, напряженность намагниченія равномѣрно намагниченнаго тѣла равняется отношенію его магнитнаго момента къ объему его. Эта величина поэтому будетъ равна единицѣ, когда на единицу объема (1 куб. см.) будетъ приходиться *единица магнитнаго момента.*

Удѣльный магнитизмъ. Подъ удѣльнымъ магнитизмомъ подразумѣваютъ отношеніе магнитнаго момента къ массѣ магнита. Единицею удѣльнаго магнитизма обладаетъ такой магнитъ, единицѣ массы котораго (1 гр.) соотвѣтствуетъ единица магнитнаго момента. Въ хорошихъ стальныхъ магнитахъ удѣльный магнитизмъ равняется отъ 40 до 100 абсолютнымъ единицамъ.

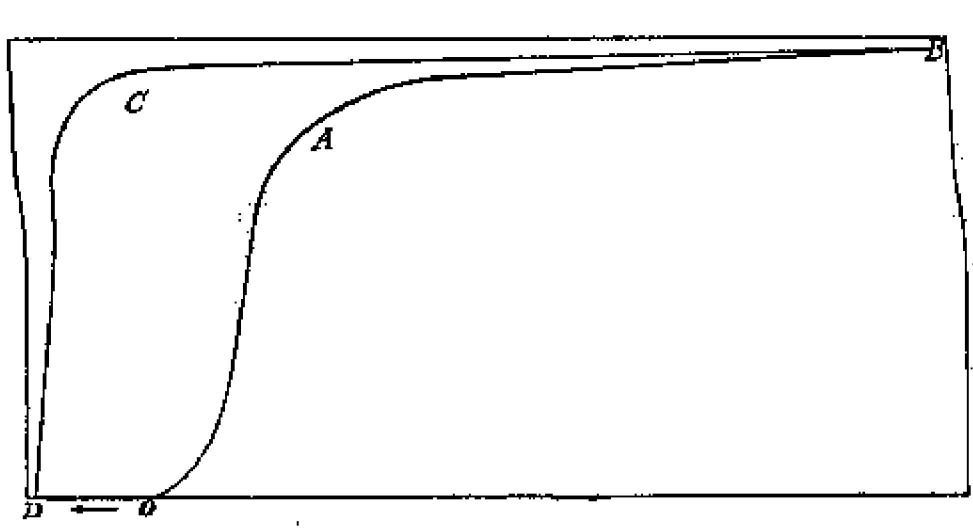
Магнитная индукція. Если вблизи магнитнаго полюса помѣстить кусокъ желѣза или вообще какое-либо тѣло, способное намагничиваться, то они *сами становятся магнитами вслѣдствіе индукціи или наведенія,* причемъ въ нихъ на ближайшемъ разстояніи отъ даннаго полюса возбуждается противоположный полюсъ; вблизи, напр. сѣвернаго полюса возбуждается на тѣлѣ южный полюсъ. Магнитъ вліяетъ не только на желѣзо, никкель и кобальтъ, но и вообще, какъ показалъ Фарадэй, на всѣ тѣла, твердыя, жидкія и газообразныя. Всѣ тѣла, внесенныя въ магнитное поле, намагничиваются. Въ этомъ отношеніи, однако, всѣ тѣла можно раздѣлить на двѣ главныя группы, именно на парамагнитныя, притягивающіяся магнитнымъ полюсомъ, какъ желѣзо, никкель, кобальтъ и др., и на діамагнитныя тѣла, т.-е. такія, которыя магнитнымъ полюсомъ отталкиваются, какъ, напр. висмутъ, цинкъ, вода и т. д.

Когда въ магнитномъ полѣ находится желѣзо, то число силовыхъ или индукціонныхъ линій, проходящихъ черезъ единицу поверхности гдѣ-либо внутри его, больше, чѣмъ число силовыхъ линій, проходившихъ черезъ то же мѣсто въ самомъ полѣ. Говорятъ поэтому, что желѣзо обладаетъ большею воспріимчивостью или, по Фарадэю, лучшею проводимостью для индукціонныхъ линій, чѣмъ окружающее его пространство. Это свойство, по предложенію Вильяма Томсона (лорда Кельвина), называютъ магнитною проницаемостью и обозначаютъ буквою μ. Поэтому проницаемость какого-либо вещества есть отношеніе между магнитной индукціей и магнитной напряженностью.

Единицею магнитной проницаемости обладаетъ такое тѣло, въ которомъ магнитная индукція равняется магнитной напряженности. Пустое пространство, а также, приблизительно, и воздухъ, имѣютъ магнитную проницаемость, равную единицѣ. Обратная величина μ, т.-е. $\frac{1}{\mu}$, называется удѣльнымъ магнитнымъ сопротивленіемъ тѣлъ. Въ парамагнитныхъ тѣлахъ проницаемость больше единицы (и притомъ значительно больше для желѣза, никкеля и кобальта), а въ діамагнитныхъ она, напротивъ, меньше, чѣмъ въ пустомъ пространствѣ.

Кривыя намагниченія. Выведено нѣсколько формулъ, выражающихъ зависимость между напряженностью намагниченія и намагничивающей *силой, которыя, однако, согласуются съ опытомъ только въ извѣстныхъ предѣлахъ.* Зависимость эту можно представить и графически. Если, напр.,

намагничиваніе желѣза производится посредствомъ проволочной спирали, черезъ которую пропускается электрическій токъ, то, откладывая на оси абсциссъ силы тока, а на оси ординатъ соотвѣтствующія напряженности намагниченія мягкаго желѣза, мы получимъ такъ наз. кривую намагниченія, видъ которой зависитъ какъ отъ сорта желѣза, такъ и отъ выбора единицъ для силы тока и напряженности намагниченія. Общій видъ такой кривой представленъ на рис. 588. Сперва, при слабомъ токѣ, кривая поднимается незначительно, но дальше, при постепенно возрастающей намагничивающей силѣ, она круто, почти отвѣсно загибается кверху до нѣкоторой точки загиба *A*, послѣ чего подъемъ ея становится снова незначительнымъ. Какъ бы велика ни была намагничивающая сила, существуетъ предѣлъ магнитнаго насыщенія, который не можетъ быть перейденъ. Замѣчателенъ ходъ кривой при убывающей силѣ намагниченія. Когда сила эта дойдетъ до нуля, въ желѣзѣ еще будетъ сохраняться довольно значительное количество магнитизма, называемое остаточнымъ магнитизмомъ и соотвѣтствующее на чертежѣ ординатѣ *oC*. Когда направленіе намагничивающей силы станетъ противоположнымъ, то остаточный магнитизмъ быстро исчезнетъ; при этомъ сила *oD*, необходимая для его исчезновенія, можетъ служить мѣрою задерживающей силы магнита. Ходъ кривой намагниченія показываетъ, что при убываніи намагничивающей силы уменьшеніе магнитизма въ желѣзѣ менѣе значительно, чѣмъ увеличеніе его при соотвѣтствующемъ возрастаніи намагничивающей силы; въ желѣзѣ, слѣдовательно, замѣчается стремленіе сохранить возбужденное въ немъ раньше магнитное состояніе. Такимъ образомъ, возбуждаемый въ желѣзѣ магнитизмъ отстаетъ отъ намагничивающей силы. Этому явленію запаздыванія намагничиванія дано названіе магнитнаго гистерезиса (отъ ὑστερέω — отставать), который наблюдается не только въ желѣзѣ, но и въ стали, никкелѣ и кобальтѣ. Явленіе гистерезиса изучалось сперва нѣмецкимъ физикомъ Варбургомъ, а затѣмъ англичанами Гопкинсономъ и Юингомъ и др. Оно представляетъ не только чисто научный интересъ, но имѣетъ значительное значеніе въ настоящее время и въ электротехникѣ.



588. Кривыя намагничиванія.

Вліяніе температуры на магнитизмъ. Температура оказываетъ значительное вліяніе на магнитное состояніе тѣлъ, и именно съ повышеніемъ температуры магнитизмъ ослабляется. Подъ температурнымъ коэффиціентомъ магнита подразумѣвается соотвѣтствующее повышенію температуры на 1°C. уменьшеніе магнитнаго момента, раздѣленное на первоначальный магнитный моментъ. Вообще температурный коэффиціентъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше удѣльный магнитизмъ; величина его заключается между 0,0003 и 0,001. Если нагрѣть на бунзеновской горѣлкѣ мягкую желѣзную проволоку до краснаго каленія, то она перестаетъ при этомъ притягиваться магнитомъ. Послѣ ея охлажденія она снова пріобрѣтаетъ прежнее свойство притягиваться къ магниту. Для каждаго магнитнаго тѣла, какъ показалъ Гопкинсонъ, существуетъ особая критическая температура, при которой тѣло становится совершенно немагнитнымъ и испытываетъ

при этомъ измѣненіе своего внутренняго строенія; для обыкновеннаго желѣза такая критическая температура лежитъ между 660 и 870° С.

Земной магнитизмъ.

Земля, какъ магнитъ. Три элемента земного магнитизма: склоненіе, наклоненіе и горизонтальная напряженность. Способы опредѣленія этихъ трехъ элементовъ. Абсолютная система мѣръ. Способъ Гаусса для наблюденія качанія и отклоненія. Сравненіе магнитныхъ *моментовъ. Измѣненія элементовъ земного магнитизма.* Сѣверное сіяніе *и его вліяніе на* магнитные элементы земли.

Мы уже упоминали, что причина направляющей силы магнитной стрѣлки должна заключаться въ томъ, что самую землю мы должны разсматривать какъ большой магнитъ, полюсы котораго лежатъ вблизи географическихъ полюсовъ — сѣвернаго и южнаго.

Опредѣленіе магнитнаго состоянія земли составляетъ одну изъ важнѣйшихъ задачъ космической физики. Александру Гумбольдту человѣчество обязано основаніемъ этой области науки. Благодаря его инидіативѣ вся поверхность земли теперь покрыта сѣтью метеорологическихъ станцій, на которыхъ производятся систематическія, по общему плану, въ опредѣленные часы, наблюденія надъ измѣненіями не только атмосфернаго давленія, влажности, температуры, вѣтра и т. п., но и надъ магнитнымъ состояніемъ нашей планеты. Въ разработкѣ новой науки земного магнитизма особенно выдавались два нѣмецкихъ ученыхъ — Фридрихъ Гауссъ и Вильгельмъ Веберъ, выработавшіе, между прочимъ, какъ теоретическіе, такъ и экспериментальные способы изслѣдованія въ новой научной области.

Магнитное наклоненіе. Земной шаръ мы принимаемъ какъ большой магнитъ, вокругъ котораго, слѣдовательно, имѣется магнитное поле, которое на небольшихъ протяженіяхъ его поверхности можно считать равномѣрнымъ. Направленіе силовыхъ линій въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности различно: около экватора оно почти горизонтально, вблизи же полюсовъ *направленіе линій силъ почти вертикально. Наклонъ этихъ направленій* относительно горизонтальной плоскости называется магнитнымъ наклоненіемъ, которое опредѣляется угломъ наклона магнитной стрѣлки, *подвѣшанной въ ея центрѣ тяжести. Въ сѣверномъ полушаріи сѣверный* конецъ стрѣлки отклоняется книзу, а въ южномъ полушаріи южный полюсъ стрѣлки опускается внизъ.

Магнитное склоненіе. Вертикальная плоскость, *проходящая черезъ* ось свободно подвѣшанной магнитной стрѣлки, называется магнитнымъ меридіаномъ даннаго мѣста. Уголъ, составляемый магнитнымъ меридіа*номъ съ географическимъ или астрономическимъ меридіаномъ, и носитъ* названіе магнитнаго склоненія, причемъ оно восточное или западное, смотря по тому, въ какую сторону отъ географическаго меридіана отклоненъ сѣверный полюсъ стрѣлки.

Напряженность земного магнитизма. Напряженность силы въ какой-либо точкѣ магнитнаго поля опредѣляется какъ сила, дѣйствующая въ этомъ мѣстѣ на магнитный полюсъ, равный единицѣ. Такъ какъ опредѣленіе полнаго напряженія силы земного магнитизма сопряжено съ большими трудностями, то измѣряютъ ея горизонтальную составляющую или горизонтальную напряженность H. Если извѣстна эта послѣдняя, такъ же какъ и направленіе полной силы относительно горизонтальной плоскости, т.-е. магнитное наклоненіе i, то величина полной силы R получается изъ простого уравненія (см. чертежъ 591) $R = \frac{H}{\cos i}$.

Три величины — магнитныя наклоненіе, склоненіе и горизонтальная напряженность — называются тремя элементами или тремя постоянными земного магнитизма.

Измѣреніе магнитнаго склоненія. Это измѣреніе распадается на двѣ части — на опредѣленія астрономическаго и магнитнаго меридіановъ. Опредѣленіе астрономическаго меридіана сводится къ опредѣленію положенія центра солнца въ моментъ его кульминаціи (наибольшей высоты надъ горизонтомъ). Проведенная черезъ ось трубы вертикальная плоскость и есть при этомъ искомый астрономическій или географическій меридіанъ даннаго мѣста. Пусть отсчетъ на азимутальномъ кругѣ будетъ при этомъ α^0. Послѣ этого труба устанавливается такъ, чтобы ея ось совпала съ направленіемъ магнитной стрѣлки. Для этой установки магнитъ снабженъ особымъ приспособленіемъ для визированія. Чтобы точнѣе измѣрить искомый уголъ склоненія, магнитъ переворачиваютъ около его оси на 180° и снова устанавливаютъ трубу. Если α_1 будетъ средняя величина, соотвѣтствующая обѣимъ установкамъ трубы, то склоненіе получится изъ формулы $\delta' = \alpha - \alpha^1$.



389. Александръ Гумбольдтъ.

Описаніе магнитнаго теодолита. Очень удобный магнитный теодолитъ, служащій для измѣренія какъ склоненія, такъ и горизонтальной напряженности, устроенъ Ламономъ (Lamont).

Устройство этого прибора слѣдующее: съ металлической доской, поддерживаемой тремя винтовыми ножками, скрѣпленъ дискъ, на которомъ нанесены мелкія круговыя дѣленія. Черезъ середины доски и диска проходитъ вертикальная ось съ другимъ дискомъ. Этотъ послѣдній дискъ можно поворачивать около вертикальной оси, причемъ уголъ поворота отсчитывается на кругѣ съ дѣленіями помощью двухъ нопіусовъ. На послѣднемъ дискѣ находится помѣщеніе для магнита, подвѣшеннаго на коконовой нити, заключенной въ трубкѣ. Къ магниту снизу прикрѣплено зеркальце, плоскость котораго устанавливается перпендикулярно магнитной оси. Окружающая зеркало коробка со стороны, обращенной къ зрительной трубѣ, имѣетъ оконце, при-

крытое стеклянной пластинкой. Нормаль (перпендикуляръ) къ зеркалу даетъ *направленіе магнитнаго меридіана*; ось же трубы можетъ быть установлена перпендикулярно къ зеркалу посредствомъ особаго, предложеннаго Гауссомъ, окулярнаго приспособленія (рис. 592). Для этой цѣли въ окулярной трубкѣ, въ томъ мѣстѣ, гдѣ получается изображеніе отъ объектива, поставлено стеклышко, на которомъ нацарапанъ тонкій крестъ. Въ гильзѣ окуляра сдѣланъ вырѣзъ подъ угломъ въ 45°, также прикрытый стеклянной пластинкой, служащей для освѣщенія креста, посредствомъ отраженныхъ отъ



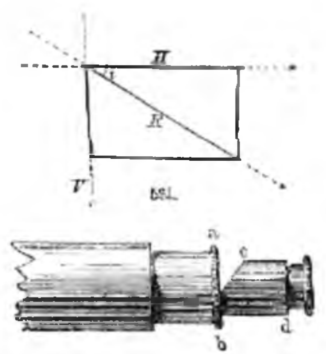
590. **Карлъ Фридрихъ Гауссъ.**

нея лучей. Ось зрительной трубы будетъ нормальна къ зеркалу, когда видимый непосредственно въ ней крестъ совпадетъ съ его изображеніемъ, отброшеннымъ зеркаломъ. (Вмѣсто того, чтобы подвѣшивать къ магниту зеркальце, можно бы взять трубчатый магнитъ, на одномъ концѣ котораго имѣется стеклышко съ дѣленіями, а на другомъ — чечевица; тогда зрительную трубу надо было бы направлять прямо по оси магнитной трубки такъ, чтобы дѣленія были бы въ ней ясно видны).

Для опредѣленія астрономическаго меридіана снимаютъ предварительно всю часть прибора, служащую для помѣщенія магнита, и помощью зрительной трубы наблюдаютъ кульминацію солнца.

Магнитное склоненіе для одного и того же мѣста подвержено вѣковымъ,

годичнымъ и суточнымъ измѣненіямъ. Въ Парижѣ въ 1580 г. склоненіе было восточное въ 11° 30′, въ 1663 г. оно было уже равно 0, а въ 1815 г. оно достигло уже 22° 34′ къ западу, и съ тѣхъ поръ медленно отступаетъ снова къ востоку. Годичныя колебанія не превосходятъ обыкновенно 15 минутъ, суточные же размахи заключаются въ предѣлахъ отъ 5 до 25 минутъ. Въ нашихъ странахъ стрѣлка склоненія имѣетъ вообще крайнее восточное положеніе въ 8 часовъ утра, послѣ этого сѣверный конецъ ея отклоняется постепенно къ западу до 1 или 2 ч. пополудни, а затѣмъ опять поворачиваетъ къ востоку. Кромѣ того, наблюдаются также иногда неправильныя и непродолжительныя колебанія магнитной стрѣлки, вслѣдствіе такъ наз. магнитныхъ бурь. Склоненіе неодинаково для различныхъ мѣстъ земной поверхности; на обоихъ географическихъ полюсахъ оно равно нулю. Линіи, соединяющія на картѣ мѣста съ одинаковыми склоненіями называются изогонами, линія же, соединяющая мѣста, въ которыхъ склоненіе нуль, называется агоною.

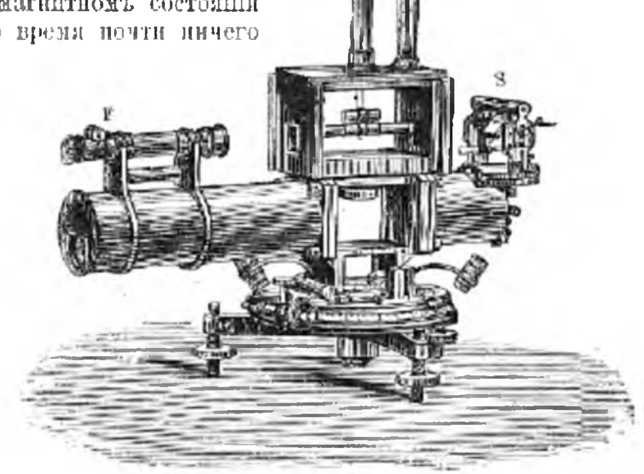


591.

592. Окулярное приспособленіе.

Въ Берлинѣ теперь (1898 г.) магнитное склоненіе западное въ 9,5°, уменьшающееся съ каждымъ годомъ примѣрно на 6 минутъ.

Наблюденія надъ склоненіемъ, найдены были впервые въ корабельныхъ книгахъ Христофора Колумба, которыя онъ велъ во время своего путешествія въ Америку въ 1492 г. Подъ 13 сентябремъ тамъ написано: „Передъ наступленіемъ ночи компасъ показывалъ отклоненіе къ сѣверо-западу; утромъ это отклоненіе было менѣе значительно“. Причину явленія Колумбъ видѣлъ не въ магнитномъ состояніи земли, о которомъ въ его время почти ничего не было извѣстно, а въ томъ, что полярная звѣзда не указывала въ точности на астрономическій полюсъ; такимъ объясненіемъ онъ успокоилъ своихъ спутниковъ, на которыхъ это странное для нихъ явленіе наводило страхъ. Только на обратномъ пути изъ Вестъ-Индіи Колумбъ созналъ свою ошибку, обнаруживъ, что въ Атлантическомъ океанѣ существуетъ пограничная линія, перейдя черезъ которую, магнитная стрѣлка отклоняется отъ своего сѣвернаго направленія.

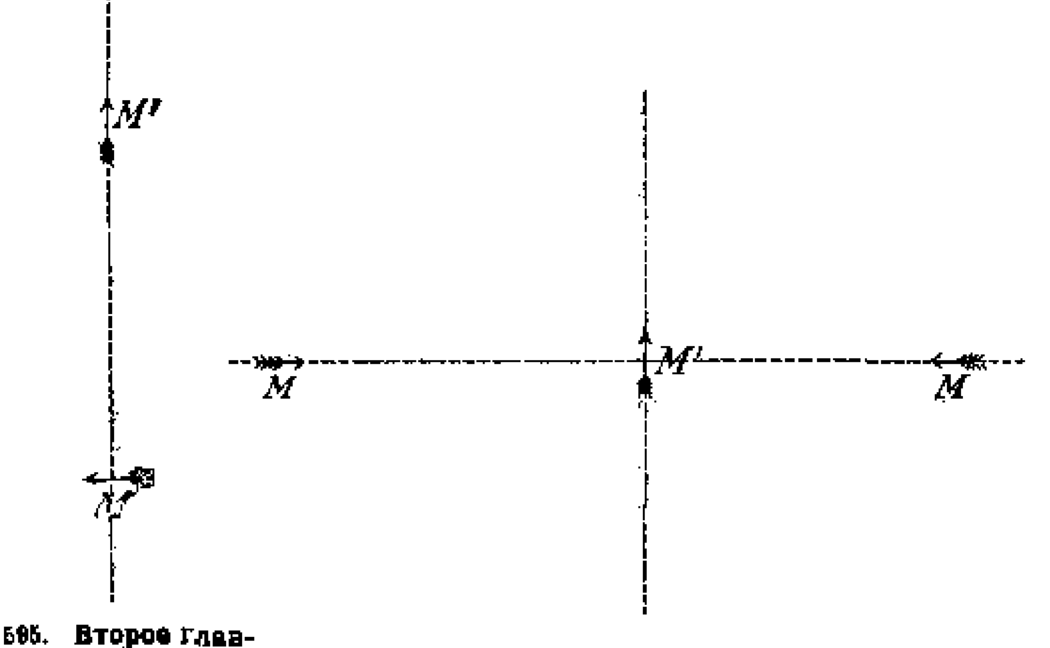


593. Магнитометръ.

Описаніе инклинатора. Вертикальный кругъ съ мелкими дѣленіями можетъ поворачиваться около вертикальной оси, проходящей че-

резъ центръ горизонтальнаго круга, установленнаго на треножникѣ съ винтами. Вертикальный кругъ, внутри котораго помѣщается магнитная стрѣлка *наклоненія, долженъ быть установленъ во время наблюденія въ плоскости* магнитнаго меридіана. На скрѣпленной съ этимъ кругомъ алидадѣ имѣются два вогнутыхъ зеркала, служащія для точнаго опредѣленія положенія острыхъ концовъ стрѣлки. Для отсчета дѣленій примѣняются двѣ лупы. Оба зеркала прилажены такимъ образомъ, что ихъ центры находятся на вертикальной линіи, когда нулевое дѣленіе круга совпадаетъ съ нулевымъ дѣленіемъ ноніуса.

Опредѣленіе магнитнаго наклоненія. Какъ сказано было, вертикальный кругъ инклинатора должно предварительно установить въ плоскости магнитнаго меридіана. Если положеніе этого послѣдняго заранѣе еще неизвѣстно, то оно можетъ быть опредѣлено посредствомъ самого же инклинатора; для этого, вращая вертикальный кругъ, находятъ такое его положеніе, при которомъ стрѣлка приняла бы строго вертикальное направленіе, т.-е. при которомъ проявляла бы свое дѣйствіе только вертикальная составляющая земного магнитизма, а горизонтальная составляющая была бы равна нулю. Замѣтивъ это положеніе на горизонтальномъ кругѣ и повернувъ вертикальный кругъ на 90°, мы и совмѣстимъ его съ магнитнымъ меридіаномъ. Взявъ тогда среднюю величину изъ двухъ отсчетовъ, указываемыхъ концами магнитной стрѣлки, мы получимъ искомый уголъ i_1 наклоненія. Чтобы исключить вліянія неполнаго совпаденія центра вращенія стрѣлки съ ея центромъ тяжести и горизонтальнаго направленія съ нулевыми штрихами, вертикальный кругъ поворачивается затѣмъ еще на 180° и снова опредѣляется положеніе равновѣсія стрѣлки; если при этомъ уголъ наклоненія окажется i_2 (опять какъ средній изъ двухъ отсчетовъ), то искомое магнитное наклоненіе можно принять равнымъ $i = \frac{i_1 + i_2}{2}$.

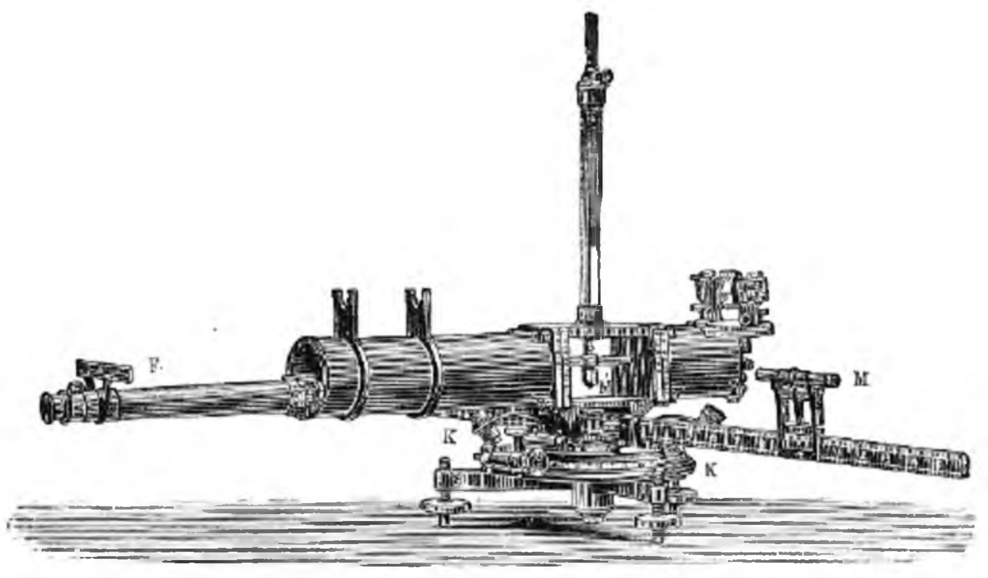


595. Второе главное положеніе. 594. Первое главное положеніе.

И магнитное наклоненіе, такъ же какъ и склоненіе, не только не имѣетъ одинаковой величины для различныхъ мѣстъ, но и въ одномъ и томъ же мѣстѣ постоянно мѣняетъ свою величину. Въ 1661 г. въ Парижѣ наклоненіе было 75° и съ тѣхъ поръ постоянно уменьшалось, такъ что въ 1870 г. оно уже было всего 65° 19′, а въ настоящее время 64° 54′ (1898 г.). Наибольшую величину наклоненіе имѣетъ въ полярныхъ странахъ, а наименьшую вблизи экватора. Линія, соединяющая тѣ мѣста земной поверхности, въ которыхъ наклоненіе равно нулю, называется **магнитнымъ экваторомъ**; линіи же, соединяющія мѣста одинаковыхъ наклоненій, называются **изоклинами**.

Для Берлина магнитное наклоненіе въ настоящее время равно 65° 58′, причемъ съ каждымъ годомъ уменьшается приблизительно на 1 мин. (Для С.-Петербурга 70° 40′).

Опредѣленіе горизонтальной составляющей земного магнитизма. Самый главный изъ элементовъ земного магнитизма есть его напряженность, и именно горизонтальная напряженность, которая преимущественно одна проявляетъ свое дѣйствіе въ большей части магнитныхъ и электрическихъ измѣрительныхъ приборахъ и которую достаточно раздѣлить только на косинусъ угла наклоненія, чтобы получить полную напряженность. Ея опредѣленіе поэтому представляетъ большое значеніе, тѣмъ болѣе, что она составляетъ научную основу абсолютной системы мѣръ, а также, слѣдовательно, и практической системы мѣръ, примѣняемой въ электротехникѣ. Гауссъ въ 1833 г. впервые показалъ въ своемъ знаменитомъ сочиненіи „Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata", какимъ образомъ всѣ магнитныя величины могутъ быть выражены въ абсолютной мѣрѣ, т.-е. посредствомъ трехъ основныхъ единицъ массы, длины и



596. Приборъ для наблюденія отклоненія.

времени. Его способъ позднѣе (1852 г.) примѣненъ его сотрудникомъ Вильгельмомъ Веберомъ также и для измѣренія электрическихъ величинъ. Скорость, напр., какъ это было показано въ первой части этой книги, можетъ быть выражена какъ отношеніе длины къ времени, ускореніе какъ отношеніе скорости къ времени, сила какъ произведеніе массы на ускореніе, и вообще всѣ физическія величины могутъ быть представлены посредствомъ трехъ основныхъ единицъ — сантиметра, грамма и секунды; при этомъ зависимость данной величины отъ трехъ основныхъ единицъ называется ея **размѣрностью** или **измѣреніемъ**. При опредѣленіи единицы количества магнитизма мы видѣли, что она можетъ быть выражена черезъ силу и длину, т.-е. въ сантиметрахъ, граммахъ и секундахъ, что и было сдѣлано впервые Гауссомъ по отношенію къ земному магнитизму и всѣхъ вообще магнитныхъ величинъ. Соотвѣтственно опредѣленію, магнитная напряженность въ какомъ-либо мѣстѣ измѣряется посредствомъ магнитнаго дѣйствія, производимаго полемъ въ этомъ мѣстѣ на полюсъ съ количествомъ магнитизма, равнымъ единицѣ. Непосредственно нельзя опредѣлить горизонтальную напряженность H, но только какъ произведеніе изъ ея величины H на магнитный моментъ M и какъ отношеніе H и M, откуда уже можно вычислить отдѣльно

какъ H, такъ и M. Вслѣдствіе этого данный Гауссомъ способъ распадается на двѣ части, именно на наблюденіе колебаній, дающее возможность опредѣлять произведеніе MH, и на наблюденіе отклоненія, посредствомъ котораго опредѣляется отношеніе $\frac{M}{H}$.

Что касается сперва до опредѣленія MH, то оно заключается въ измѣреніи помощью хронометра времени качанія магнита, т.-е. промежутка времени, соотвѣтствующаго двумъ послѣдовательнымъ прохожденіямъ качающагося магнита черезъ его положеніе равновѣсія. Для этой цѣли примѣняется магнитометръ, напр., такой, какой представленъ на рис. 593, и въ которомъ подвѣшенный на коконовой нити магнитъ имѣетъ форму трубки; на заднемъ концѣ этой магнитной трубки имѣется фотографическая шкала, а на переднемъ ахроматическая чечевица, фокусное разстояніе которой равняется длинѣ трубки. Шкала эта освѣщается сбоку зеркаломъ S и наблюдается помощью зрительной трубы F. Качанія магнита происходятъ по тѣмъ же законамъ, какъ и качанія физическаго маятника. Если, поэтому, будутъ опредѣлены продолжительность качанія магнита и его моментъ инерціи, то изъ простой формулы, подобной какъ и для маятника, можетъ быть вычисленъ моментъ вращенія MH. Такъ какъ моментъ инерціи можетъ быть представленъ какъ произведеніе изъ массы на квадратъ длины, т.-е. выраженъ въ граммахъ и сантиметрахъ, и такъ какъ наблюденная продолжительность качанія выражается въ секундахъ, то и полученное произведеніе MH выражается въ тѣхъ же абсолютныхъ единицахъ.



597. Кэнъ, наблюдающій магнитометръ.

Что же касается до опредѣленія отношенія $\frac{M}{H}$, то оно выводится на основаніи измѣренія угла, на который отклоняется подъ дѣйствіемъ даннаго магнита M другой вспомогательный магнитъ M'. Величина отклоненія будетъ, разумѣется, зависѣть отъ разстоянія между магнитами, и такъ какъ на вспомогательный магнитъ дѣйствуютъ двѣ силы, именно — сила земного магнитизма (стремящаяся вернуть его въ магнитный меридіанъ) и отклоняющая сила даннаго магнита (удаляющая его изъ магнитнаго меридіана), то отклоненіе будетъ зависѣть также и отъ отношенія этихъ обѣихъ силъ. Различаютъ (по Гауссу) два случая: первое главное положеніе (рис. 594), въ которомъ отклоняющій магнитъ M находится къ востоку или къ западу отъ вспомогательнаго магнита M' и именно такъ, что ось его перпендикулярна и симметрична къ оси вспомогательнаго магнита; второе главное положеніе (рис. 595), въ которомъ отклоняющій магнитъ M лежитъ къ сѣверу

или къ югу, притомъ перпендикулярно, какъ и въ первомъ случаѣ, къ вспомогательному магниту M'.

Приборъ для наблюденія отклоненія представленъ на рис. 596. Его устройство почти такое, какъ и магнитометра. Вспомогательный магнитъ M' подвѣшивается на коконовой нити; его положеніе равновѣсія и отклоненія опредѣляются помощью зрительной трубы F съ шкалой (по зеркальному способу Гаусса и Поггендорфа) и раздѣленнаго круга K. Отклоненіе производитъ магнитъ M въ его первомъ главномъ положеніи; разстояніе между серединами магнитовъ измѣряется помощью раздѣленной линейки A. По углу, на который M' отклоняется отъ магнитнаго меридіана подъ вліяніемъ M, опредѣляется отношеніе $\frac{M}{H}$. Чтобы исключить погрѣшности несимметричнаго намагничиванія M и M', наблюденіе производится и при восточномъ и при западномъ положеніяхъ M.

Такъ какъ при наблюденіи качаній опредѣляется произведеніе MH, а при наблюденіи отклоненія находится отношеніе $\frac{M}{H}$, то на основаніи этихъ двухъ результатовъ получаются и отдѣльно какъ магнитный моментъ, такъ и горизонтальная напряженность.

Способъ Гаусса, разумѣется, можетъ быть примѣненъ для сравненія между собою магнитныхъ моментовъ различныхъ магнитовъ. Для этого сравниваемые магниты заставляютъ дѣйствовать съ одинаковаго разстоянія на одинъ и тотъ же вспомогательный магнитъ и наблюдаютъ соотвѣтственныя отклоненія послѣдняго. Магнитные моменты будутъ относится между собою, какъ тангенсы угловъ отклоненія.

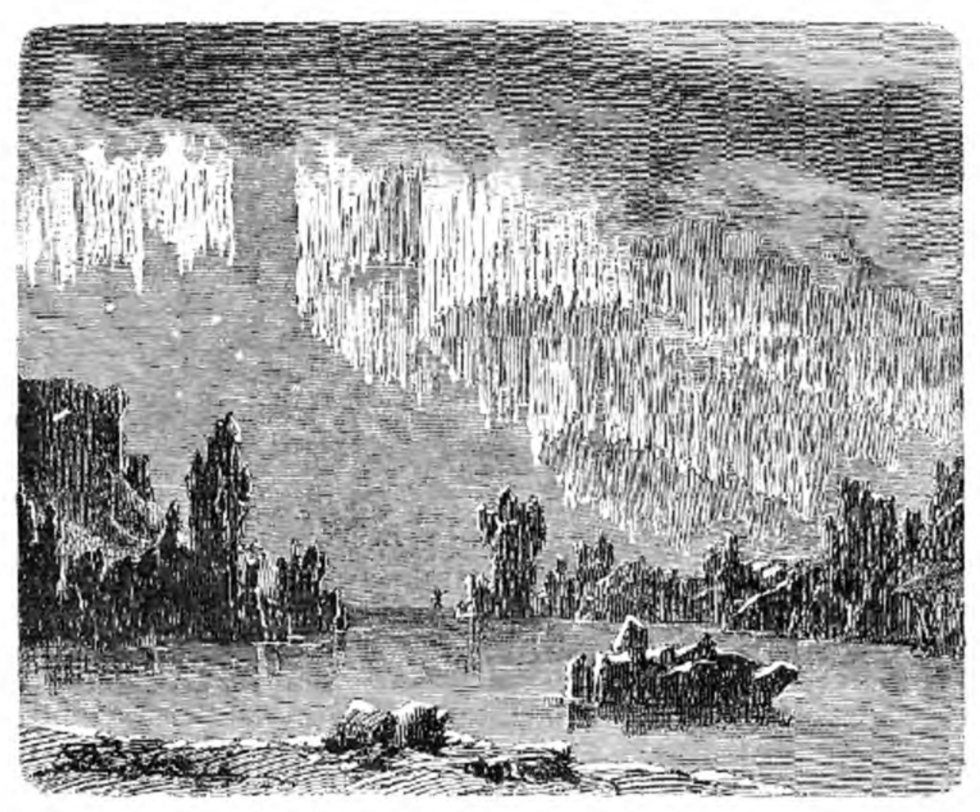
Если полученный, такимъ образомъ, магнитный моментъ раздѣлить на разстояніе между полюсами, то найдется напряженность магнитнаго полюса; если же напряженность полюса раздѣлить на поверхность полюса, то получится число силовыхъ линій, проходящихъ черезъ единицу поверхности. Отсюда мы видимъ, что способъ Гаусса имѣетъ огромное значеніе для опредѣленія магнитныхъ величинъ.

Напряженность земного магнитизма, какъ и другіе элементы, имѣетъ различные величины въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности; она вообще возрастаетъ отъ экватора къ полюсамъ. Кривыя линіи, соединяющія мѣста съ одинаковыми магнитными напряженностями, носятъ названіе изодинъ. И для одного и того же мѣста напряженность не остается постоянною. Въ Берлинѣ въ настоящее время величина горизонтальной напряженности равняется 0,187, т.-е., слѣдовательно, горизонтальная составляющая сила, съ которою земной магнитизмъ въ Берлинѣ дѣйствуетъ на единицу полюса, составляетъ 0,187 динъ или 0,2 вѣса миллиграмма. Полная напряженность земного магнитизма въ Берлинѣ составляетъ 0,46 абсолютныхъ единицъ.

Причина измѣненій земного магнитизма. Сѣверное сіяніе и его связь съ земнымъ магнитизмомъ. Измѣненія элементовъ земного магнитизма находится въ тѣсной, хотя и не вполнѣ еще выясненной связи съ перемѣнами свѣтовыхъ, тепловыхъ и электрическихъ явленій на нашей землѣ. Съ цѣлью выяснить эту зависимость ведутся систематическія наблюденія въ различныхъ университетскихъ лабораторіяхъ и магнитныхъ обсерваторіяхъ всего свѣта. Въ научныхъ путешествіяхъ магнитометръ составляетъ теперь одинъ изъ главнѣйшихъ приборовъ, послѣ того, какъ А. Гумбольдтъ произвелъ магнитныя наблюденія, оказавшія важныя услуги космической физикѣ, на Кордильерахъ въ Южной Америкѣ и у береговъ Амазонки, а Кэнъ на крайнемъ сѣверѣ въ арктическомъ поясѣ.

Кромѣ періодическихъ суточныхъ магнитныхъ измѣненій, иногда приходится наблюдать и мгновенныя неправильныя отклоненія магнитной стрѣлки

и притомъ не только скоропроходящія, но и остаточныя, достигающія въ иныхъ случаяхъ до одного градуса, какъ, напр., при землетрясеніяхъ и вулканическихъ изверженіяхъ. Но самое сильное вліяніе, нарушающее правильныя колебанія магнитной стрѣлки, оказываетъ сѣверное сіяніе (aurora borealis), появляющееся на небѣ въ полномъ своемъ блескѣ въ полярныхъ странахъ, въ которыхъ зимою солнце не показывается на горизонтѣ цѣлыя недѣли и мѣсяцы. Когда появляется сѣверное сіяніе, магнитная стрѣлка *приходитъ въ неправильныя колебанія, и сѣверный ея конецъ отклоняется* при этомъ преимущественно къ западу; такія колебанія наблюдаются не



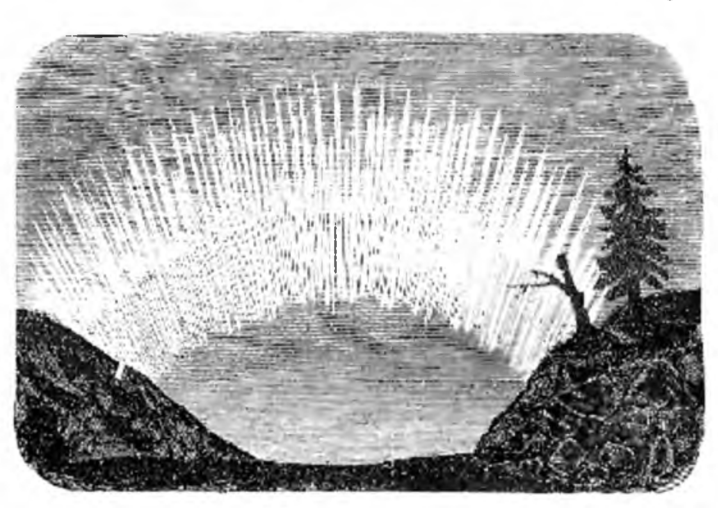
530. **Сѣверное сіяніе въ полярномъ морѣ.**

только въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ сѣверное сіяніе видно, но и въ очень удаленныхъ отъ нихъ мѣстахъ, хотя и въ болѣе слабой степени.

Въ среднихъ широтахъ сѣверныя или вообще полярныя сіянія появляются *довольно рѣдко, въ сѣверныхъ же странахъ они составляютъ* обычное явленіе. Во время одной экспедиціи въ Норвегію въ 1838 г. лейтенантъ Лоттинъ наблюдалъ въ теченіе 206 дней 143 сіянія.

„Между 4 и 8 часами вечера верхняя часть свѣтлаго тумана на сѣверѣ стала принимать цвѣтные оттѣнки. Свѣтлая полоса стала принимать постепенно форму дуги, опирающейся своими концами на горизонтъ. Вершина ея находилась въ направленіи магнитнаго меридіана. Вскорѣ показались черноватыя полосы, раздѣлявшія свѣтлую дугу, и такимъ образомъ образовались лучи, которые *болѣе или менѣе быстро то удлинялись, то укорачивались*. Въ сіяніи замѣчается какое-то волнообразное движеніе. Волны какъ-будто перебѣгаютъ съ одного конца дуги къ другому, съ востока на

западъ и обратно. Дуга при этомъ, кромѣ того, кажется какъ бы развѣвающейся лентой или раздуваемымъ вѣтромъ флагомъ. Иногда одна изъ оконечностей дуги или обѣ вмѣстѣ отдѣляются отъ горизонта; тогда нагибанія становятся многочисленнѣе и рѣзче. Дуга представляется при этомъ какъ длинная лучистая лента, которая то развивается, то раздѣляется на нѣсколько частей и образуетъ красивыя сплетенія, называемыя „короной". Лучи у основанія становятся красными, въ серединѣ зелеными, а въ остальныхъ частяхъ дуги сохраняютъ свѣтло-желтый цвѣтъ. Цвѣта эти сохраняютъ всегда свое взаимное расположеніе и обладаютъ замѣчательною прозрачностью. Яркость начинаетъ, наконецъ, уменьшаться, окрашиваніе исчезаетъ, и все явленіе прекращается или вдругъ, или же иногда постепенно. Отдѣльныя части дуги часто вновь появляются, и вновь образуется дуга, которая обладаетъ восходящимъ движеніемъ и приближается постепенно къ зениту. Вслѣдствіе перспективы лучи кажутся все болѣе короткими и, наконецъ, вершина дуги достигаетъ магнитнаго зенита, т.-е. точки, указываемой южнымъ концомъ стрѣлки наклоненія. Между тѣмъ на горизонтѣ образуются новыя дуги; онѣ слѣдуютъ одна за другой, пробѣгая одинаковыя фазы, черезъ опредѣленные промежутки. Иногда такіе промежутки бываютъ незначительны, такъ что нѣсколько дугъ проникаютъ одна другую и напоминаютъ своимъ расположеніемъ театральныя кулисы, изображающія небо. Когда нѣкоторые лучи переходятъ за магнитный зенитъ, они кажутся направляющимися съ юга къ этой точкѣ, и тогда образуется настоящая корона. Явленіе короны безъ сомнѣнія есть дѣйствіе одной только перспективы; наблюдатель, который въ это время находился бы гораздо южнѣе, навѣрное видѣлъ бы только одну дугу.



899. Сѣверное сіяніе.

„Если вообразить себѣ безпрерывное вспыхиваніе лучей, мѣняющихъ постоянно свою длину и яркость, ихъ великолѣпные красные и зеленые тоны, ихъ волнообразное движеніе, и представить себѣ, наконецъ, что весь небесный сводъ кажется при этомъ громаднымъ и чудеснымъ свѣтлымъ куполомъ, стоящимъ надъ покрытой снѣгомъ землею и составляющимъ блестящую рамку для спокойнаго моря, темнаго какъ смола, то мы получимъ только несовершенную картину этого удивительнаго явленія, вполнѣ описать которое нѣтъ никакой возможности". Такъ изображаетъ Лоттинъ наблюдавшееся имъ сѣверное сіяніе въ Боссекопѣ. То, чѣмъ для насъ, въ нашихъ странахъ, представляется это явленіе, не можетъ идти въ сравненіе съ тѣмъ блестящимъ явленіемъ, которое наблюдается на сѣверѣ.

Спектроскопическія изслѣдованія полярныхъ сіяній показали, что спектръ дуги состоитъ преимущественно изъ одной свѣтлой желто-зеленой линіи, лежащей между фраунгоферовыми линіями D и E; такую же линію

Энгстрёмъ наблюдалъ и въ спектрѣ зодіакальнаго свѣта; она не соотвѣтствуетъ ни одной извѣстной намъ пока газовой линіи.

Границы, внутри которыхъ бываютъ видны полярныя сіянія, очень обширны; отсюда можно заключить о большой высотѣ, на которой происходитъ это явленіе. Такъ, напр., сѣверное сіяніе 28 августа 1859 г. наблюдалось на протяженіи 140 градусовъ, отъ Калифорніи до восточной Европы, и отъ Ямайки до сѣверныхъ странъ британскихъ владѣній въ Америкѣ. Изъ подобныхъ наблюденій Меранъ вывелъ, что высота сѣверныхъ сіяній должна быть болѣе 100 географическихъ миль.

Появленіе полярныхъ сіяній подчинено нѣкоторой періодичности. Лумисъ (Loomis) нашелъ, что чаще всего сіяніе въ Канадѣ появляется около 11 час. вечера, а въ высшихъ широтахъ около 12 и 1 часа ночи; между тѣмъ Вольфъ и Фрицъ полагаютъ, что наибольшее число сѣверныхъ сіяній повторяется черезъ 11 лѣтъ. Кромѣ того, черезъ пять такихъ одиннадцатилѣтнихъ періодовъ приходится самый значительный максимумъ сіяній. Нужно упомянуть еще, что возвращенію солнечныхъ пятенъ соотвѣтствуетъ также одиннадцатилѣтній періодъ, а падающимъ звѣздамъ (по Гумбольдту) тридцатитрехлѣтній періодъ.

Совпаденіе направленія лучей съ магнитнымъ меридіаномъ давно уже заставляло подозрѣвать тѣсную зависимость между сѣверными сіяніями и земнымъ магнитизмомъ. И другія соотношенія даютъ поводъ разсматривать сіянія, какъ магнитныя бури, по выраженію Гумбольдта, какъ, напр., одновременное появленіе сѣверныхъ и южныхъ сіяній, возможность предсказанія ихъ по колебаніямъ магнитной стрѣлки, какъ это дѣлалъ Араго въ Парижѣ и т. п.

Де-ля-Ривъ (De la Rive) причисляетъ сѣверное сіяніе къ явленіямъ атмосфернаго электричества. Хорошо проводящій электричество разрѣженный воздухъ высшихъ слоевъ атмосферы и сама земля образуютъ какъ бы двѣ обкладки конденсатора. Для подтвержденія своей теоріи Де-ля-Ривъ придумалъ аппаратъ, помощью котораго на опытѣ можно было воспроизвести свѣтовыя электрическія явленія, напоминающія собою полярныя сіянія. Въ восьмидесятыхъ годахъ профессору Гельсингфорскаго университета Лемстрёму (Lemström) удалось искусственно вызывать сіянія въ воздухѣ и доказать такимъ образомъ ихъ электрическое происхожденіе. Онъ для этой цѣли устанавливалъ на вершинѣ горы нѣсколько заостренныхъ шестовъ, соединенныхъ между собою проволокой; можно было обнаружить помощью гальванометра электрическій токъ, идущій по этой проволокѣ въ землю и одновременно наблюдать надъ остріями сіянія, которыя въ спектроскопѣ давали характеристическую линію сѣверныхъ сіяній.

Объ электричествѣ.

Свѣдѣнія древнихъ объ электричествѣ. Электричество тренія Отто фонъ Герике. Проводники и непроводники. Положительное и отрицательное электричество. Гипотеза электрическихъ жидкостей. Индукція. Электроскопъ. Законъ Кулона. Единица количества электричества. Распредѣленіе электричества на поверхности. Электрическое поле силъ. Потенціалъ. Емкость. Конденсаторъ. Діэлектрическая постоянная. Электрическая машина тренія. Паровая электрическая машина. Доска Франклина. Лейденская банка и баттарея. Колебательный разрядъ. Электрофоръ. Индукціонная электрическая машина. Электрическіе опыты. Электрическая иллюминація. Электрическая мортира. Пробиваніе электрической искрой. Приборъ Лоджа для сгущенія дыма. Молнія и громоотводъ.

Въ древности греческія женщины въ своихъ женскихъ работахъ предпочитали веретено извѣстнаго рода, сдѣланное изъ янтаря или украшенное имъ. Вслѣдствіе тренія шерстяной нити о веретено янтарь приходилъ въ особое состояніе, въ которомъ онъ притягивалъ и отталкивалъ отъ себя от-

дѣлявшіяся отъ шерсти мелкія волокна, и такимъ образомъ при пряденіи получался забавный видъ какой-то самовольной игры.

Этимъ свойствомъ янтаря (ἤλεκτρον, электронъ, происходящее по Буттманну отъ греческаго слова ἕλκειν, притягивать къ себѣ) объясняются его названія на другихъ языкахъ: такъ, у римлянъ онъ назывался harpax, т.-е. разбойникъ, у персовъ cavuba, т.-е. „притягивающій къ себѣ мякину", откуда произошло затѣмъ Carabe. Эти названія указываютъ на то, что свойство янтаря уже съ раннихъ временъ стало предметомъ всеобщаго вниманія. Впослѣдствіи изъ названія электронъ произвели слово электричество и обнаруживаемыя имъ явленія стали называть электрическими.

Кромѣ янтаря древнимъ были извѣстны еще другія тѣла, также электризующіяся при треніи, напр. гіацинтъ. Съ теченіемъ времени узнали, что это свойство весьма распространено въ тѣлахъ и обнаруживается разнообразнымъ образомъ, такъ что ученіе объ электричествѣ стало одной изъ важнѣйшихъ отраслей физики, практическое примѣненіе которой въ новѣйшее время оказываетъ столь сильное вліяніе на самыя различныя области техники, торговли, сношеній и настолько ихъ преобразовываетъ, что мы съ полнымъ правомъ можемъ говорить о нашемъ времени, какъ о „вѣкѣ электричества".

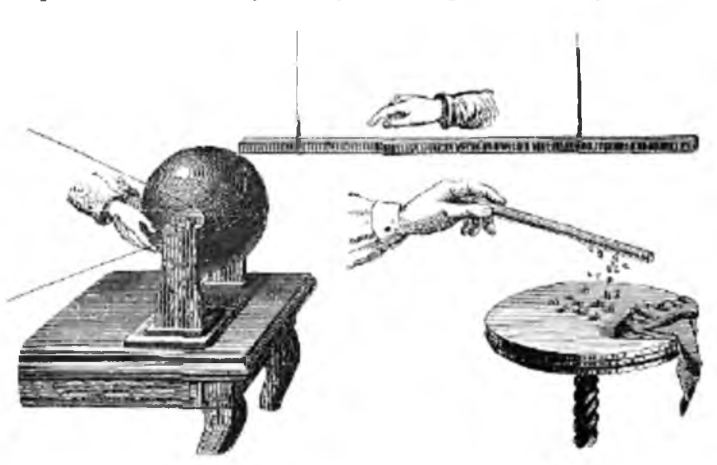
Впрочемъ трудно рѣшить, насколько еще древніе были знакомы съ обширной областью электрическихъ явленій. Повидимому, въ основѣ нѣкоторыхъ религіозныхъ культовъ, внутренній смыслъ которыхъ передавался среди жрецовъ, какъ тайна, изъ рода въ родъ, лежало болѣе глубокое знаніе природы, въ особенности болѣе подробное знакомство съ сущностью электрическихъ явленій; такъ напр., недавно умершимъ знаменитымъ египтологомъ профессоромъ Бругшъ Пашой установлено, что на египетскихъ храмахъ существовали громоотводы въ видѣ высокихъ деревянныхъ мачтъ съ металлической обшивкой. Между тѣмъ эти свѣдѣнія были для насъ затеряны и не имѣли значенія въ развитіи нынѣшней науки объ электричествѣ.

Начало этой науки можно вести только съ Вильяма Джильберта, выдающагося англійскаго врача, который изслѣдовалъ большое число тѣлъ въ отношеніи ихъ электрическихъ свойствъ и въ своемъ, вышедшемъ въ Лондонѣ въ 1600 г., сочиненіи „Tractatus sive physiologia nova de magnete magneticisque corporibus etc." представилъ большой списокъ тѣлъ, электризующихся треніемъ.

Природа электрическихъ явленій, которыя не менѣе общи, нежели явленія свѣтовыя и тепловыя, оставалась долго сокрытой отъ человѣческаго изслѣдованія; причина этого, быть-можетъ, заключается въ томъ, что для ощущенія ихъ у насъ нѣтъ особаго органа чувствъ, и что мы открываемъ ихъ только по сопровождающимъ механическимъ или свѣтовымъ или тепловымъ дѣйствіямъ. Но съ того времени, какъ Джильбертъ показалъ, что треніемъ можно привести въ электрическое состояніе очень большое число тѣлъ, расцвѣтавшее тогда естествоиспытаніе съ рвеніемъ взялось за дальнѣйшее изслѣдованіе. Стали искать средства получать въ большомъ количествѣ единственно извѣстный тогда родъ электричества, электричество тренія, и Отто фонъ Герике устроилъ первую электрическую машину, описанную имъ въ его книгѣ „Nova experimenta Magdeburgica". Стеклянный шаръ онъ заливалъ сѣрой и затѣмъ отбиваніемъ удалялъ стекло. Получавшійся шаръ изъ сѣры онъ снабжалъ деревянной осью и клалъ въ подшипники, такъ что помощью шнурка шаръ могъ быть приведенъ въ быстрое вращеніе. При треніи шара о приложенную къ нему руку (рис. 600) между нимъ и свободно подвѣшеннымъ предъ нимъ металлическимъ стержнемъ проскакивали маленькія искорки; этотъ стержень служилъ кондукторомъ и могъ отдавать свой зарядъ рукѣ или другимъ близъ находящимся предметамъ въ

формѣ искръ болѣе крупныхъ. Если бы впрочемъ магдебургскій бургомистръ не разбивалъ стеклянной оболочки, но натиралъ бы ее самое вмѣсто шара изъ сѣры, то онъ произвелъ бы дальнѣйшее существенное усовершенствованіе въ электрической машинѣ; такимъ образомъ онъ безсознательно упустилъ ту выгоду, которую представлялъ ему самъ случай. Несмотря на то, мы должны приписывать ему честь изготовленія первой, хотя бы и грубой, электрической машины, съ которой имъ произведено большое число интересныхъ опытовъ.

Проводники и непроводники. Въ нѣкоторыхъ тѣлахъ электричество распространяется особенно легко и передается ими на любое разстояніе. Такія тѣла носятъ названіе проводниковъ. Напротивъ въ другихъ тѣлахъ электричество почти не распространяется или распространяется, но только съ большимъ трудомъ; это непроводники или изоляторы. Но какъ не существуетъ совершенныхъ проводниковъ, которые не представляли бы ни малѣйшаго сопротивленія распространенію электричества, такъ нѣтъ и абсолютныхъ непроводниковъ. Въ этомъ отношеніи нѣтъ рѣзкой границы, но существуетъ, лучше сказать, постепенный переходъ отъ одного класса къ другому, и, смотря по величинѣ сопротивленія, представляемаго переходу чрезъ нихъ электричества, называютъ тѣла хорошими проводниками, полупроводниками и плохими проводниками. Первыя наблюденія надъ распространеніемъ электричества были сдѣланы Греемъ около 1728 г.



600. Первая электрическая машина Отто фонъ Герике.

601. Притягательная сила электричества.

Къ хорошимъ проводникамъ прежде всего принадлежатъ металлы, растворы солей, земля, вода, человѣческое тѣло; напротивъ къ плохимъ или непроводникамъ должно отнести всѣ смолы, шеллакъ, гуттаперчу, эбонитъ, стекло, шелкъ, газы и т. д.

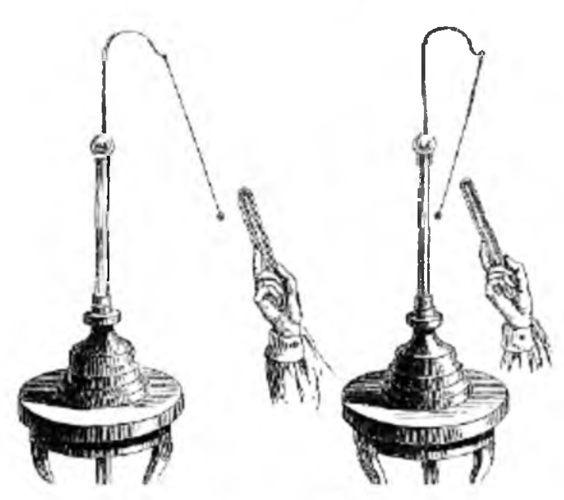
Основныя явленія электричества. Если мы натремъ палочку сургуча мѣхомъ и будемъ держать ее надъ легкими тѣлами, напр., надъ бумажными обрѣзками, соломой, пробковыми шариками и т. под. (рис. 601), то замѣтимъ, что эти легкія тѣла быстро подскакиваютъ вверхъ и пристаютъ вокругъ натертой палочки. Мы замѣчаемъ далѣе, что вскорѣ послѣ прикосновенія они опять отпадаютъ или, лучше сказать, отталкиваются.

Мы можемъ наблюдать это съ такъ называемымъ электрическимъ маятникомъ, т.-е. съ шарикомъ изъ бузинной сердцевины, подвѣшеннымъ на тонкой шелковой нити. Онъ притягивается натертой палочкой сургуча, но лишь только коснется ея, отталкивается, такъ что теперь шарикъ какъ-будто избѣгаетъ палочки совершенно такъ, какъ ранѣе слѣдовалъ за ней (рис. 602 и 603). Стеклянная трубка, потертая объ амальгамированную кожу, повидимому, дѣйствуетъ на электрическій маятникъ такъ же, какъ и сургучъ. Однако существуетъ значительное различіе между дѣйствіемъ сургуча и дѣй-

ствіемъ стекла. Такъ, если мы повѣсимъ, какъ раньше, отдѣльно два бузинныхъ шарика и коснемся одного натертой палочкой сургуча, другого стеклянной трубкой, то первый будетъ избѣгать соприкосновенія съ палочкой сургуча; напротивъ, онъ станетъ притягиваться стеклянной трубкой. Наоборотъ тотъ шарикъ, который отталкивается стеклянной трубкой, притягивается палочкой сургуча.

Положительное и отрицательное электричества. Эта противоположность, наблюденная впервые Дюфэ около 1730 г., привела къ предположенію двухъ противоположныхъ родовъ электричества, которые названы стекляннымъ или положительнымъ электричествомъ и смолянымъ или отрицательнымъ электричествомъ, а также и къ основному закону, что тѣла, наэлектризованныя одноименно, взаимно отталкиваются, наэлектризованныя разноименно притягиваются.

Тренiемъ могутъ быть наэлектризованы на время всѣ тѣла, причемъ помощью электрическаго маятника мы можемъ узнать, наэлектризовано ли тѣло положительно или отрицательно. Если пробковый шарикъ прикосновеніемъ потертой стеклянной трубки наэлектризованъ положительно, то онъ притягивается, подобно какъ и палочкой сургуча, всякимъ отрицательно наэлектризованнымъ тѣломъ, но всякимъ положительно наэлектризованнымъ — отталкивается. Съ болѣе точными приборами для различенія обоихъ родовъ электричества и для ихъ измѣренія мы познакомимся вскорѣ въ электроскопѣ и позже въ электрометрѣ.

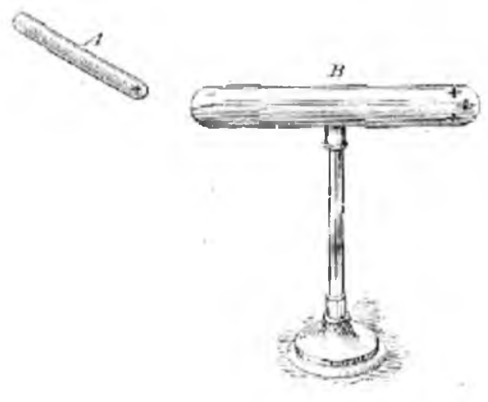


602 и 603. Электрическій маятникъ.

Если повторить опытъ съ пробковымъ шарикомъ и съ натертой металлической палочкой, то послѣдняя не оказываетъ никакого дѣйствія на шарикъ. Возбуждаемое треніемъ электричество тотчасъ стекаетъ съ металлической палочки чрезъ руку и тѣло человѣка въ землю, тогда какъ въ стеклянной палочкѣ оно остается въ мѣстѣ возникновенія. Но если металлическую палочку снабдить стеклянной рукояткой, то, повторяя съ ней опытъ, получаютъ тотъ же результатъ, что и выше съ стеклянной или сургучной палочками.

Гипотеза раздѣленія жидкостей. Какъ причину электрическихъ явленій, принимаютъ по Кулону, подобно явленіямъ магнитнымъ, двѣ невѣсомыя, электрическія жидкости, обладающія противоположными свойствами, такъ что частицы одной и той же жидкости отталкиваются, тогда какъ частицы противоположныхъ жидкостей притягиваются; поэтому ихъ и различаютъ, какъ положительное и отрицательное электричества. Въ ненаэлектризованномъ или нейтральномъ тѣлѣ оба рода жидкостей находятся въ одинаковомъ количествѣ и равномѣрно смѣшаны между собой, такъ что ихъ внѣшнее дѣйствіе равно нулю. Процессъ электризаціи тѣлъ состоитъ въ раздѣленіи двухъ жидкостей: въ нѣкоторомъ мѣстѣ является избытокъ положительнаго или отрицательнаго электричества, которое называется свободнымъ электричествомъ и оказываетъ внѣшнее дѣйствіе. Существенное же различіе

между гипотезой существованія двухъ магнитныхъ жидкостей и гипотезой существованія электрическихъ жидкостей состоитъ въ томъ, что въ то время какъ магнитныя жидкости связаны съ молекулой и не могутъ переходить отъ одной молекулы къ другой, электрическія жидкости могутъ до извѣстной степени двигаться въ тѣлѣ и переходить съ одного тѣла на другое, и притомъ тѣмъ легче, чѣмъ лучшій проводникъ представляетъ изъ себя данное тѣло. Для объясненія распространенія электричества въ проводникѣ принимаютъ, что оба рода электричествъ протекаютъ по немъ въ противоположныхъ направленіяхъ. Хотя гипотеза существованія двухъ электрическихъ жидкостей и не можетъ служить удовлетворительнымъ объясненіемъ истинной причины электрическихъ явленій, и на послѣднія, по всей вѣроятности, должно смотрѣть, какъ на особый родъ колебаній эѳира, все-таки эта гипотеза вытекаетъ изъ опытныхъ данныхъ и оказывается весьма полезной какъ для объединенія многихъ электрическихъ явленій, такъ и для примѣненія математическаго анализа; когда говорятъ о положительномъ и отрицательномъ электричествѣ, то представляютъ не только особыя жидкости, но и опредѣленныя состоянія тѣлъ, характеризуемыя внѣшнимъ дѣйствіемъ.



604. Электрическая индукція.

Согласно предшествовавшему мы можемъ ненаэлектризованное тѣло представлять такъ, какъ-будто оно заряжено равными количествами положительнаго и отрицательнаго электричества, которыя взаимно уравновѣшиваются.

Электрическое вліяніе. Если къ ненаэлектризованному изолированному тѣлу *B* приблизить, не касаясь его, наэлектризованное напр. положительно тѣло *A* (рис. 604), то *B* электризуется чрезъ вліяніе, т.-е. соединенныя въ немъ электричества раздѣляются, отрицательное электричество притягивается *A* и удерживается въ связанномъ состояніи, положительное отталкивается. *A* называется наводящимъ, *B* — наведеннымъ проводникомъ.


605. Электроскопъ съ золотыми листочками.

Если проводникъ *B* состоитъ изъ двухъ частей, отдѣляемыхъ другъ отъ друга, то можно показать, что половина, обращенная къ проводнику *A*, заряжена отрицательнымъ электричествомъ, другая — положительнымъ. Если въ то время, какъ проводникъ *B* находится у наэлектризованнаго проводника, соединить на мгновеніе отдаленный конецъ *B* съ землею, то электричество стечетъ съ него въ землю. Если потомъ удалить наводящее тѣло *A*, то связывавшееся имъ отрицательное электричество можетъ свободно распространиться по поверхности *B*, и *B* оказывается заряженнымъ отрицательно. Такимъ образомъ можно тѣло простымъ приближеніемъ къ другому наэлектризованному заряжать противоположнымъ электричествомъ.

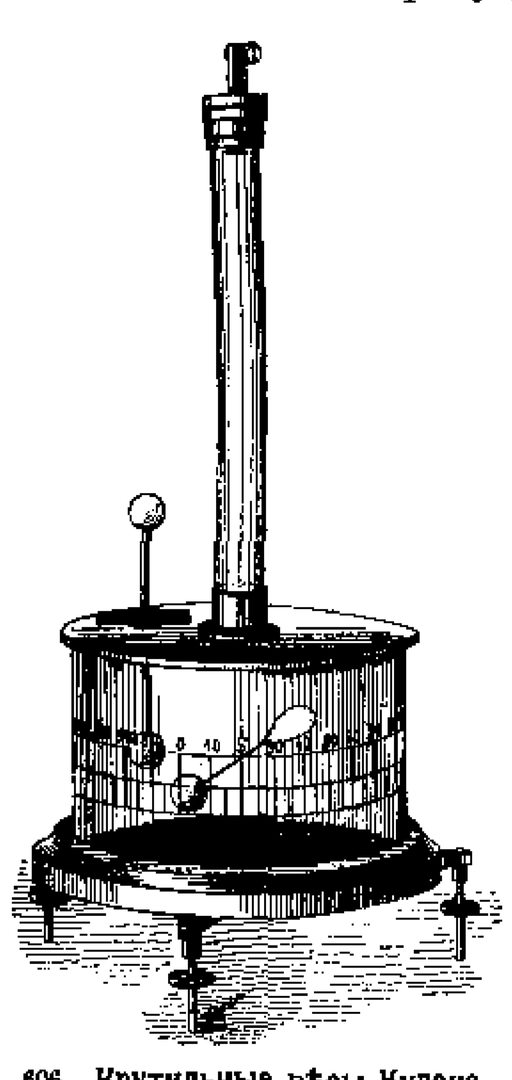
Ели удалить A отъ B, то оба электричества на B соединяются и уравновѣшиваются. Процоссомъ наведенія всегда возбуждаются въ точности равныя количества положительнаго и отрицательнаго электричества.

Всѣ эти явленія легко показать помощью электроскопа съ золотыми листочками (рис. 605). Онъ устроенъ слѣдующимъ образомъ: въ стеклянный шаръ вставлонъ металлическій, хорошо изолированный шеллакомъ, стержень, который на своемъ верхнемъ концѣ снабженъ маленькимъ шарикомъ, головкой, а на нижнемъ скошенномъ концѣ имѣетъ два легкихъ въ точности одинаковыхъ листочка изъ сусальнаго золота. Если къ головкѣ электроскопа приблизить потертую объ амальгаму стеклянную палочку, то металлическій стержень электризуется чрезъ вліяніе; его отрицательное электричество притягивается стеклянной палочкой, положительное отталкивается и переходитъ на золотые листочки; слѣдовательно, послѣдніе будутъ взаимно отталкиваться и расходиться до тѣхъ поръ, пока стеклянная палочка находится вблизи головки электроскопа, и листочки опять спадутъ, если стеклянную палочку удалить. Но если въ то время, какъ стеклянная палочка находится вблизи головки, коснуться послѣдней пальцемъ, то положительное электричество уходитъ въ землю, тогда какъ отрицательное электричество удерживается стеклянной палочкой въ связанномъ положеніи. Если удалить затѣмъ сначала палецъ и потомъ стеклянную палочку, то отрицательное электричество распространится на золотые листочки, которые вслѣдствіе этого зарядятся отрицательно и разойдутся. Точно такимъ же образомъ помощью отрицательно наэлектризованной палочки сургуча можно наведеніемъ сообщить электроскопу положительный зарядъ (наведенное электричество перваго рода). Напротивъ, прикосновеніомъ къ головкѣ натертой стеклянной или сургучной палочки электроскопъ заряжается положительно или отрицательно (наведенное электричество второго рода). Теперь, чтобы помощью электроскопа можно было рѣшить, наэлектризовано ли тѣло положительно или отрицательно, заряжаютъ электроскопъ любымъ электричествомъ, напр., положительнымъ такъ, чтобы золотые листочки давали подходящій уголъ расхожденія, и приближаютъ къ электроскопу изслѣдуемое тѣло. Если тѣло наэлектризовано положительно, то оно будетъ отрицательное электричество притягивать, положительное отталкивать и направлять въ золотые листочки, расхожденіе которыхъ, слѣдовательно, увеличится; если тѣло наэлектризовано отрицательно, то, такъ какъ оно притягиваетъ положительное электричество, а отрицательное отталкиваетъ въ золотые листочки, расхожденіе послѣднихъ уменьшится. Можно такимъ же образомъ показать, что при треніи двухъ тѣлъ всегда оба они электризуются, именно одно — положительно, другое — отрицательно. Стекло при треніи объ амальгаму электризуется положительно, амальгама отрицательно; эбонитъ отрицательно, мѣхъ положительно. Количества возбуждаемыхъ электричествъ всегда равны по величинѣ, но противоположны.

Законъ Кулона. Единица количества электричества. Опытъ показываетъ, что, если касаться изолированнаго ненаэлектризованнаго металлическаго шара другимъ изолированнымъ и наэлектризованнымъ, то послѣдній теряетъ столько электричества, сколько первый пріобрѣтаетъ. Если шары одинаковы, то послѣ соприкосновенія каждый изъ нихъ содержитъ только половину того электричества, которое было первоначально на одномъ изъ нихъ. Можно, слѣдовательно, говорить о количествѣ электричества, которымъ заряженъ каждый шаръ. Предполагая, что шаръ безконечно малъ, тогда какъ количество электричества на немъ имѣетъ конечное значеніе, получаютъ представленіе о точкѣ, заряженной опредѣленнымъ количествомъ электричества, въ томъ же смыслѣ, въ которомъ употребляется выраженіе „количество магнитизма“ для напряженія магнитнаго полюса.

Въ подобномъ же смыслѣ мы говоримъ въ оптикѣ о количествѣ свѣта и въ теплотѣ о количествѣ теплоты, не связывая съ этими понятіями представленія о веществѣ. Количества электричества точно такъ, какъ количества магнитизма, мы измѣряемъ по тѣмъ дѣйствіямъ, которыя они производятъ на другія тѣла. Мы говоримъ, что два количества электричества равны, если, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, они оказываютъ на одно и то же тѣло тождественныя дѣйствія, и мы называемъ два количества электричества равными и противоположными, если, при прочихъ равныхъ обстоятельствахъ, они производятъ на одно и то же тѣло равныя, но противоположныя дѣйствія.

Законъ, по которому два наэлектризованныя небольшія тѣла дѣйствуютъ другъ на друга, былъ найденъ впервые Кулономъ, въ 1785 г. въ опытѣ на приборѣ, названномъ имъ крутильными вѣсами. Они имѣютъ слѣдующее устройство (рис. 606). Къ закручивающему кругу прикрѣплена тонкая нить, на которой виситъ горизонтальная шеллаковая палочка (коромысло вѣсовъ). Одинъ ея конецъ снабженъ маленькимъ проводящимъ шарикомъ, тогда какъ другой конецъ имѣетъ противовѣсъ изъ слюдяного кружка. Въ опредѣленной точкѣ круга, который можетъ описывать подвижной шарикъ, помѣщается на изолированной палочкѣ другой шарикъ, въ точности равный первому (неподвижный шарикъ). Весь приборъ окруженъ широкимъ стекляннымъ цилиндромъ, поверхъ котораго находится трубка, имѣющая общую съ нимъ ось. Передъ опытомъ оба шарика касаются другъ друга, причемъ нить не закручена. Если теперь неподвижному шарику сообщить опредѣленный зарядъ, то послѣдній при прикосновеніи распредѣлится по обоимъ шарикамъ, и подвижной шарикъ оттолкнется. Для того, чтобы привести его обратно на опредѣленное, отсчитываемое по дѣленіямъ круга, угловое разстояніе отъ неподвижнаго шарика, надо закрутить нить на извѣстный уголъ, и величина угла крученія, отсчитаннаго на закручивающемъ кружкѣ, даетъ мѣру силы, съ которой взаимно отталкиваются оба наэлектризованныхъ шарика. Законъ Кулона гласитъ слѣдующее.



606. Крутильные вѣсы Кулона.

Два маленькія наэлектризованныя тѣла оказываютъ другъ на друга въ направленіи линіи ихъ соединенія, смотря по тому, наэлектризованы ли они *одноименно* или *разноименно*, *притягательную* или *отталкивательную силу*, которая равна произведенію ихъ количествъ электричества, дѣленному на квадратъ разстоянія между ними.

Законъ Кулона даетъ намъ возможность опредѣлить такъ наз. электростатическую единицу количества электричества въ системѣ C. G. S.: электростатическая единица количества электричества есть то количество, которое оказываетъ на равное себѣ количество, расположенное въ разстояніи 1 см. (оба предполагаются сосредоточенными въ точкахъ) дѣйствіе въ одну дину.

Вмѣсто этой единицы, которая очень мала, въ электротехнической практикѣ для измѣренія количествъ электричества примѣняютъ единицу, имѣющую другое основаніе, именно кулонъ, который въ три тысячи милліоновъ разъ больше, чѣмъ только-что опредѣленная электростатическая единица количества электричества.

Распредѣленіе электричества на поверхности. Что касается до распредѣленія свободнаго электричества въ наэлектризованномъ проводникѣ, то опытъ такъ же, какъ и математическая физика, учитъ, что внутри проводника не существуетъ свободнаго электричества, но что оно находится только на поверхности, и что во внутреннемъ, окруженномъ этой поверхностью, пространствѣ не дѣйствуетъ никакой электрической силы.

Опытное доказательство справедливости этого предложенія далъ Фарадей. Имъ была устроена изолированная, вся обитая проводящей поверхностью, комната, въ которую онъ помѣщался самъ, съ чувствительнымъ электроскопомъ. Какъ сильно ни электризовали ее снаружи помощью большой электрической машины, снаружи можно было извлекать изъ стѣнъ длинныя искры, внутри нельзя было обнаружить ни одного слѣда электричества.

Равномѣрное распредѣленіе электричества имѣетъ мѣсто только на правильной шаровой поверхности, въ общемъ случаѣ зарядъ неравномѣренъ и зависитъ отъ формы проводника, будучи больше въ мѣстахъ бо̀льшей кривизны. Отношеніе количества, заключающагося на небольшой части поверхности проводника, къ величинѣ этой части поверхности называется электрической плотностью или толщиною электрическаго слоя въ этомъ мѣстѣ. Въ мѣстахъ поверхности, имѣющихъ большую кривизну, особенно на остріяхъ, электрическая плотность, а также и электрическая сила весьма велики, такъ что электричество съ остріевъ легко пробиваетъ окружающій, изолирующій слой воздуха, т.-е. истекаетъ.

Электрическое поле силъ. На стр. 498 мы дали понятіе магнитнаго поля силъ. Аналогичнымъ образомъ электрическимъ полемъ силъ мы называемъ всякое пространство, въ которомъ дѣйствуютъ силы, вслѣдствіе присутствія наэлектризованнаго тѣла. Напряженіе H поля въ какой-либо точкѣ измѣряется силою, дѣйствующей въ этомъ мѣстѣ на точку, заряженную единицею количества электричества, въ предположеніи, что присутствіе послѣдней не нарушаетъ электрическаго состоянія поля. На точку, которая содержитъ количество электричества e, дѣйствуетъ сила He.

M' $(+1)$ M r $(+e)$ A

607.

Если точка движется въ полѣ противоположно дѣйствующей на нее силѣ, то она встрѣчаетъ измѣримое сопротивленіе, для преодолѣнія котораго затрачивается работа; напротивъ, если точка движется подъ вліяніемъ самой дѣйствующей на нее силы, то работа совершается.

Въ нѣкоторой точкѣ поля дѣйствуетъ напряженіе въ одну единицу системы C. G. S., если точка съ единицей количества электричества испытываетъ въ этомъ мѣстѣ дѣйствіе силы въ одну дину.

Потенціалъ. Теперь мы должны познакомиться съ понятіемъ, которое хотя находитъ свое основаніе и примѣненіе уже въ механикѣ, но во всѣхъ отдѣлахъ физики играетъ важную роль, это — понятіе потенціала. Что для проблемы капельно-жидкихъ тѣлъ понятіе гидростатическаго давленія, для теоріи газовъ понятіе объ упругости, для ученія о теплотѣ понятіе температуры, то для электрическихъ явленій понятіе электрическаго потенціала.

Если электрическое поле образуется точкою A (рис. 607), содержащею количество электричества $+e$, то на нѣкоторую точку, находящуюся на разстояніи r и содержащую единицу положительнаго количества электричества, дѣйствуетъ, по закону Кулона, отталкивательная сила $\frac{e}{r^2}$ въ направленіи r;

выраженіе $\frac{e}{r}$ *называется потенціаломъ точки* M, *находящейся подъ дѣйствіемъ заряда* e или короче нотенціаломъ въ M. Онъ имѣетъ важное физическое значеніе: если точка M движется по направленію электрической силы *въ сторону* M', *то сила совершаетъ работу* (*сила* $\times$ на путь). *Заряженная* электричествомъ точка M представляетъ такимъ образомъ въ электрическомъ полѣ, подобно приподнятому грузу, опредѣленную потенціальную энергію, которая будетъ израсходована, если удалить точку M на безконечное разстояніе отъ A. Слѣдовательно, потенціалъ въ M выражаетъ собой работу, совершаемую электрическою силою поля, когда количество электричества 1 перемѣщается ею отъ точки M въ безконечное разстояніе, или также работу, которую должно затратить противъ электрической силы поля, чтобы перевести количество электричества 1 изъ безконечнаго разстоянія въ M. Вообще потенціалъ въ различныхъ точкахъ электрическаго поля различенъ. Разность *потенціаловъ двухъ точекъ равна работѣ, которую должно совершить, чтобы* перевести единицу количества электричества изъ одной точки въ другую въ направленіи, противоположномъ дѣйствію силы; слѣдовательно, разность потенціаловъ между двумя точками будетъ единица, если для этого перехода должно совершить единицу работы (эргъ). Употребляемая въ практикѣ единица разностей потенціаловъ Вольтъ будетъ опредѣлена позже. Точки электрическаго поля, въ которыхъ потенціалы имѣютъ одно и то же постоянное значеніе, образуютъ поверхность, называемую поверхностью равныхъ потенціаловъ или поверхностью уровня. Для смѣщенія количества электричества вдоль поверхности уровня не требуется никакой работы. Въ *каждой точкѣ дѣйствующая сила направлена перпендикулярно* къ поверхности уровня. Точно такъ, какъ поверхность воды въ резервуарѣ только тогда находится въ равновѣсіи, когда всѣ частицы воды на поверхности имѣютъ одинъ и тотъ же уровень, и электрическое равновѣсіе на проводникѣ можетъ быть только тогда, когда всѣ точки имѣютъ одинъ потенціалъ, когда потенціалъ проводника имѣетъ постоянное значеніе. Тогда электрическая сила во всѣхъ мѣстахъ направлена перпендикулярно къ поверхности, и на проводникѣ не можетъ возникнуть никакого движенія электричества; совершенно такъ, какъ на каждую частицу находящейся въ равновѣсіи поверхности воды дѣйствуетъ сила перпендикулярно къ поверхности, и не можетъ образоваться никакого теченія воды отъ одной точки къ другой.

Хотя электрическое состояніе земли, въ дѣйствительности намъ неизвѣстное, сложно и весьма различно въ различныхъ точкахъ, какъ то слѣдуетъ, между прочимъ, изъ наблюденій надъ возмущеніями земного магнитизма, но на практикѣ принимаютъ обыкновенно потенціалъ земли за нуль, подобно тому, какъ при измѣреніи высотъ за исходную точку считаютъ *опредѣленный уровень, именно поверхность моря.*

Тогда потенціалъ точки есть разность между его потенціаломъ и потенціаломъ земли, аналогично высотѣ точки надъ поверхностью моря, и можетъ быть измѣренъ работой, которую должно совершить, чтобы перевести единицу количества электричества отъ земной поверхности въ эту точку въ направленіи, противоположномъ дѣйствію силъ поля.

Если два проводника съ различными потенціалами соединены между собою, то электричество всегда устремляется съ проводника съ большимъ потенціаломъ на проводникъ съ меньшимъ потенціаломъ, совершенно какъ въ двухъ соединенныхъ трубою резервуарахъ различныхъ уровней жидкость течетъ всегда изъ резервуара съ болѣе высокимъ уровнемъ въ другой, пока оба не будутъ имѣть одинаковые уровни. При соединеніи заряженнаго проводника съ землей, его потенціалъ становится нулемъ.

Емкость. Потенціалъ наэлектризованнаго проводника становится тѣмъ больше, чѣмъ больше электричества сообщается ему, совершенно какъ въ закрытомъ наполненномъ газомъ сосудѣ давленіе газа тѣмъ больше, чѣмъ больше газа введено въ сосудъ. Далѣе, какъ равныя количества газа въ сосудахъ различныхъ емкостей испытываютъ различное давленіе, именно въ сосудѣ большей емкости давленіе меньшее, чѣмъ въ сосудѣ меньшей емкости, совершенно такъ равныя количества электричества сообщаютъ проводникамъ различныхъ размѣровъ различные потенціалы. Отношеніе количества электричества на проводникѣ къ его потенціалу называется **емкостью** проводника.

$$\text{Емкость} = \frac{\text{Количество электричества}}{\text{Потенціалъ}}$$

Въ томъ случаѣ, если вблизи не находится никакого наводящаго тѣла, она зависитъ только отъ формы и размѣровъ проводника.

Проводникъ обладаетъ единицей емкости, если онъ заряжается единицей количества электричества до единицы потенціала. Употребительная въ технинѣ единица **Фарада** будетъ опредѣлена позже.

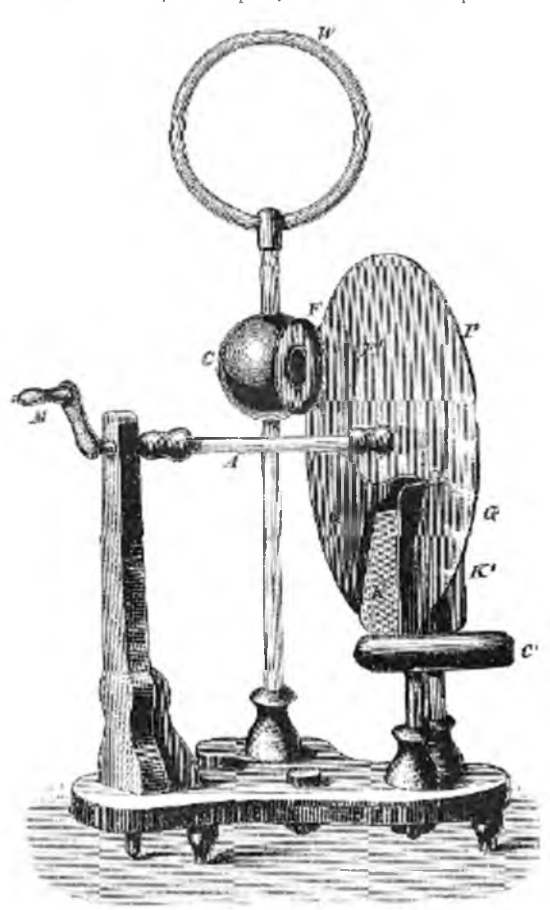
Конденсаторъ. Діэлектрическая постоянная. Если проводникъ соединенъ съ источникомъ электричества, который даетъ электричество опредѣленнаго значенія потенціала, то онъ заряжается опредѣленнымъ количествомъ электричества, зависящимъ отъ его емкости. Его емкость, а слѣдовательно и количество электричества, которымъ онъ заряжается, увеличиваются, если приблизить къ нему второй проводникъ, отведенный къ землѣ. Такое расположеніе, состоящее изъ двухъ проводниковъ, раздѣленныхъ изоляторомъ, и имѣющее цѣлью при данной разности потенціаловъ и сравнительно небольшой поверхности получать возможно большія количества электричества, носитъ названіе **конденсатора**. Оба проводника называются обыкновенно **обкладками**, изоляторъ — **діэлектрикомъ**, постоянное отношеніе количества электричества къ разности потенціаловъ емкостью конденсатора. Величина послѣдней зависитъ отъ размѣровъ и формы обкладокъ такъ же, какъ и отъ вещества и толщины діэлектрика; она не зависитъ отъ вещества металла, изъ котораго сдѣланы обкладки. Опыты показываютъ, что при употребленіи какого-либо твердаго или жидкаго діэлектрика въ качествѣ *изолирующаго вещества емкость конденсатора при прочихъ равныхъ* условіяхъ больше, нежели при употребленіи воздуха. Тотъ коэффиціентъ, на который слѣдуетъ умножить емкость воздушнаго конденсатора, чтобы получить емкость того же конденсатора для случая другого діэлектрика, называется **удѣльной индуктивной способностью** или **діэлектрической постоянной** соотвѣтствующаго вещества.

Между діэлектрической постоянной и показателемъ преломленія вещества для очень большихъ волнъ существуетъ интересная и для связи между электрическими и свѣтовыми явленіями важная зависимость, являющаяся слѣдствіемъ электромагнитной теоріи свѣта **Максвелля**, именно, что показатели преломленія относятся, какъ корни квадратные изъ діэлектрическихъ постоянныхъ.

Изложивъ, такимъ образомъ, самыя важныя понятія ученія объ электричествѣ, мы перейдемъ теперь къ описанію тѣхъ приборовъ, помощью которыхъ получается электричество.

Электрическая машина тренія. Она состоитъ, какъ и первая машина **Герике**, главнымъ образомъ, изъ трехъ частей: изъ **изолятора**, который натирается, изъ **трущей подушки** и тѣла, которое собираетъ возбуждаемое электричество, такъ наз. **кондуктора**. Подушка соединена проводникомъ съ землею, натираемое тѣло, напротивъ, изолировано. Герике, какъ мы видѣли, вмѣсто подушки пользовался рукой; совершенно такъ же.

спустя тридцать лѣтъ, поступалъ еще Гауксби, который вмѣсто шара изъ сѣры натиралъ стеклянный шаръ, приводившійся во вращеніе помощью рукоятки. Несовершенство этихъ первыхъ машинъ долго препятствовало введенію ихъ во всеобщее употребленіе. Около половины 18-го столѣтія Гаузенъ, Бозе и Винклеръ въ Лейпцигѣ произвели разнообразныя улучшенія въ электрическихъ машинахъ. Послѣдній изъ названныхъ соединилъ ось возбудителя электричества, состоявшаго изъ обыкновеннаго стакана, съ колесомъ, которое, какъ въ токарномъ станкѣ, приводилось въ движеніе педалью; около 1740 г. онъ также присоединилъ впервые къ своей машинѣ изобрѣтенную токаремъ Гисингомъ въ Лейпцигѣ подушку, которая помощью пружинъ прижималась къ вращающемуся стеклянному цилиндру.



608. Электрическая машина съ кругомъ.

Кондукторъ былъ уже раньше въ употребленіи, въ формѣ полаго металлическаго цилиндра. Аббатъ Поллетъ уединялъ его подвѣшиваніемъ на шелковыхъ нитяхъ; непосредственно къ машинѣ онъ былъ присоединенъ впервые Вильсономъ, который ввелъ еще и донынѣ употребительную гребнеобразную форму электрода съ направленными къ стеклянному тѣлу остріями, помощью которыхъ собирается электричество.

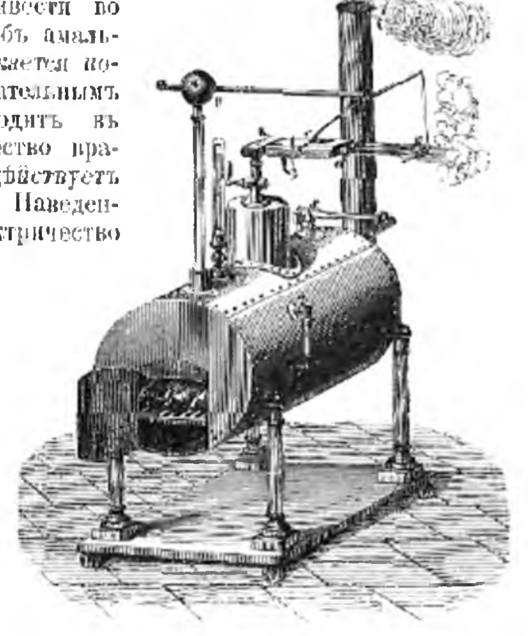
Большую заслугу въ усовершенствованіи конструкціи электрическихъ машинъ пріобрѣлъ фонъ Марумъ. Извѣстна построенная подъ его руководствомъ амстердамскимъ механикомъ Кутбертсономъ въ 1785 г. для музея Тейлера въ Гаарлемѣ гигантская машина съ двумя дисками, въ поперечникѣ около 1,7 метра, которая давала искры въ 60 см. и могла заряжать сильныя батареи.

Смотря по тому, представляетъ ли натираемое тѣло стеклянный кругъ или стеклянный цилиндръ, различаютъ машины съ кругомъ или съ цилиндромъ. Мы опишемъ простую машину перваго рода (рис. 608): на тяжелой доскѣ находятся двѣ стойки, поддерживающія ось A съ насаженнымъ на нее стекляннымъ кругомъ P; ось приводится во вращеніе помощью рукоятки M. Къ стеклянному кругу съ обѣихъ его сторонъ прижимаются упругія подушки KK'; это двѣ наклеенныя на деревянныя дощечки кожаныя подушки, которыя на своихъ внутреннихъ сторонахъ покрыты такъ наз. кинмейеровской амальгамой (ртуть, олово и цинкъ, превращенные въ порошокъ и растертые со свинымъ саломъ въ мазь). Отъ подушекъ идутъ крылья GG изъ шелка или покрытой восковымъ лакомъ

тафты, которыя при вращеніи круга прилегаютъ къ нему и препятствуютъ стеченію положительнаго электричества со стекла въ воздухъ и его возвращенію къ подушкѣ.

На нижней доскѣ покоится изолированный кондукторъ C, состоящій изъ полаго металлическаго шара и соединенный съ двумя электродами или собирателями $F F'$. Это два деревянныхъ кольца, стороны которыхъ, обращенныя къ кругу, снабжены тонкими остріями; эти острія собираютъ положительное электричество круга и передаютъ его соединенному съ ними кондуктору C. Для полученія большихъ искръ можно насадить на кондукторъ C еще такъ наз. Винтеровское кольцо. Подушки и соединенный съ ними кондукторъ C' отводятся помощью металлическаго проводника къ землѣ. Дѣйствіе машины слѣдующее:

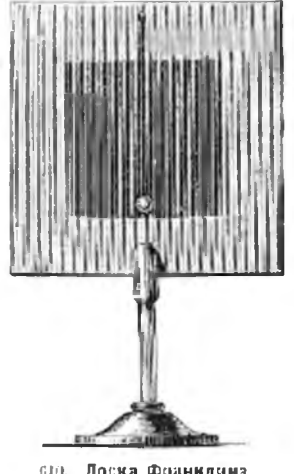
Если стеклянный кругъ привести во вращеніе, то вслѣдствіе тренія объ амальгамированныя подушки *онъ заряжается положительнымъ*, подушки — отрицательнымъ электричествомъ; послѣднее уходитъ въ землю. Положительное электричество *вращающагося стекляннаго круга* дѣйствуетъ индуктивно на острія собирателя. Наведенное на нихъ отрицательное электричество переходитъ на стеклянный кругъ и нейтрализуетъ только-что возбужденное положительное электричество, тогда какъ освобождающееся положительное электричество собирателей распространяется по кондуктору C. Слѣдовательно, послѣдній заряжается положительнымъ электричествомъ и притомъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ дольше вращаютъ стеклянный кругъ. Если вмѣсто того, чтобы отводить къ землѣ, изолировать соединенный съ подушками кондукторъ C' и отвести къ землѣ кондукторъ C, то можно собрать на C' отрицательное электричество подушекъ. Электрическая машина даетъ, слѣдовательно, простое и удобное средство возбуждать и собирать въ любомъ количествѣ положительное и отрицательное электричество.



609. **Паровая электрическая машина Армстронга.**

Емкость кондуктора зависитъ отъ величины его поверхности. Съ сильно наэлектризованнаго кондуктора электричество постепенно уходитъ въ воздухъ, который никогда не бываетъ абсолютно сухимъ, или же оно перескакиваетъ на хорошіе, даже удаленные проводники, сопровождаясь свѣтомъ и трескомъ. Въ большихъ машинахъ можно извлекать искры, которыя дѣйствуютъ на человѣческій организмъ очень сильно и небезопасны для него. Поэтому во избѣжаніе ударовъ не слѣдуетъ слишкомъ близко подходить къ сильно заряженному кондуктору. *Но если до зарядженія взяться за кондукторъ или иду*щую отъ него проволоку и помѣститься на изолирующую подставку (уединяющая скамья), то тогда при вращеніи машины человѣческое тѣло заряжается точно такъ, какъ кондукторъ; въ томъ мѣстѣ, гдѣ его касаются, оно даетъ искры; въ затемненной комнатѣ вокругъ головы показывается нѣкоторый свѣтъ или сіяніе, волосы подпимаются дыбомъ, такъ какъ они заряжаются положительнымъ электричествомъ и, взаимно отталкиваясь, расходятся на

подобіе золотыхъ листочковъ электроскопа. Впрочемъ, кондукторъ можетъ разряжаться тихо безъ искръ и треска, именно когда держать предъ нимъ проводникъ, оканчивающійся однимъ или нѣсколькими тонкими остріями. Во влажномъ воздухѣ электрическая машина дѣйствуетъ непостоянно и слабо; уже присутствіе нѣсколькихъ людей въ закрытой комнатѣ оказывается неблагопріятнымъ вслѣдствіе увеличенія влажности воздуха отъ дыханія.



610. Доска Франклина.

Паровая электрическая машина. Тотъ фактъ, что электричество возбуждается треніемъ при выходѣ водяного пара изъ узкихъ трубокъ, послужилъ Арметронгу въ Лондонѣ въ 1840 г. къ устройству **паровой или гидро-электрической машины**, видъ которой представленъ на рис. 609. Паръ развивается въ котлѣ, покоющемся на стеклянныхъ столбахъ и отведенномъ къ землѣ; его клапанъ *s* остается закрытымъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнуто значительное давленіе, около 10 атмосферъ и болѣе. Потомъ заставляютъ паръ подъ высокимъ давленіемъ проходить чрезъ систему узкихъ прорѣзовъ и отверстій, которыя просверлены въ цилиндрѣ изъ буковаго дерева и находятся въ части, помѣщенной подлѣ *e*. Треніемъ пара о стѣнки котелъ заряжается отрицательнымъ, водяной паръ — положительнымъ электричествомъ, которое помощью зубцеобразнаго электрода *e* можно собрать на уединенномъ кондукторѣ *B*.

При вытеканіи жидкой углекислоты (ср. стр. 470) изъ бомбы происходитъ столь сильное треніе ея о стѣнку выходного отверстія, и если принимать твердую углекислоту въ суконный мѣшечекъ — столь сильное треніе ея о сукно, что можно легко получать изъ сосуда большія искры. Твердая углекислота оказывается при этомъ наэлектризованною отрицательно, сукно — положительно.



611. Генлеевскій разрядникъ.

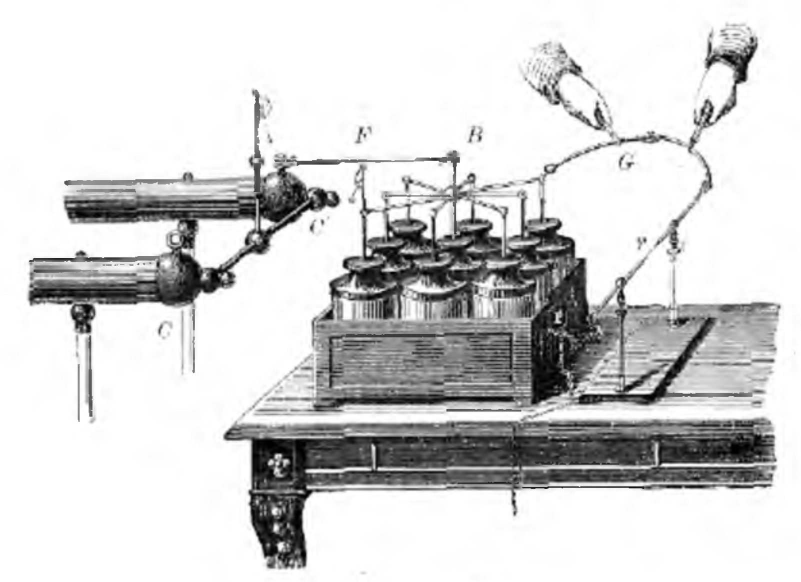
612. Лейденская банка.

613. Разрядъ лейденской банки.

Доска Франклина (рис. 610) представляетъ изъ себя стеклянную доску, обклеенную съ обѣихъ сторонъ (отъ средины и приблизительно до 3 см. отъ края) листовымъ оловомъ. Если помощью кондуктора электрической машины зарядить одну обкладку положительнымъ электричествомъ, то чрезъ вліяніе на противолежащей внутренней сторонѣ второй обкладки съ нимъ будетъ связано равное количество отрицательнаго электричества, тогда какъ положительное электричество оттолкнется на внѣшнюю поверхность ея и можетъ быть отведено въ землю пальцемъ. Слѣдовательно, обѣ обкладки заряжены противоположными электричествами, и ихъ соединенію препятствуетъ лежащая между ними уединяющая стеклянная пластинка, пока заряды недостаточно сильны для того, чтобы пробить эту пластинку и, такимъ образомъ, проложить къ соединенію прямой путь. Но чтобы достигнуть этого соединенія при болѣе слабыхъ зарядахъ, нужно чрезъ край стеклянной доски

перекинуть металлическій проводникъ, напр., въ формѣ Генлеевскаго разрядника (рис. 611). Онъ состоитъ изъ металлической дуги, половины которой C и D имѣютъ движеніе около шарнира O, а конечные шарики могутъ быть переставлены на любое разстояніе одинъ относительно другого при помощи стеклянныхъ рукоятокъ. При этомъ даже незначительные заряды даютъ сравнительно сильный разрядъ, который оказываетъ также сильное физіологическое дѣйствіе. Въ этомъ легко убѣдиться сравненіемъ электрическихъ ударовъ, которые получаются, если одинъ разъ касаться заряженнаго кондуктора, другой разъ — обѣихъ обкладокъ доски Франклина.

Лейденская банка представляетъ подобный же приборъ для собиранія электричества. Она состоитъ изъ открытаго стекляннаго цилиндра, который внутри и снаружи до двухъ третей его высоты обклеенъ листовымъ



614. Электрическая батарея.

оловомъ. Въ соприкосновеніи съ внутренней обкладкой находится металлическій стержень, оканчивающійся металлической головкой (рис. 612). Для заряженія банки соединяютъ головку внутренней обкладки съ кондукторомъ электрической машины, тогда какъ банку держатъ въ рукѣ или внѣшнюю обкладку приводятъ въ металлическое соединеніе съ землей. Количество электричества, которое можетъ собрать лейденская банка, ея емкость, а слѣдовательно и ея дѣйствіе при разрядѣ, зависитъ отъ ея размѣровъ, въ особенности отъ величины поверхности обѣихъ обкладокъ.

Если соединить между собою нѣсколько лейденскихъ банокъ такъ, чтобы ихъ внутреннія обкладки заряжались однимъ и тѣмъ же электричествомъ, то получается электрическая батарея. Для этой цѣли внѣшнія обкладки также соединяются между собою и помѣщаются на общую отведенную къ землѣ подставку. Рис. 614 показываетъ подобное соединеніе нѣсколькихъ лейденскихъ банокъ въ одну электрическую батарею. $C C'$ кондукторъ электрической машины, который при помощи металлическаго стержня T соединяется въ B съ внутренними обкладками отдѣльныхъ банокъ. Внѣшнія также соединены между собою и помощью проволоки P отведены къ землѣ. Для разряженія батареи служитъ приспособленіе $A F G$, отведенное къ землѣ въ A.

Колебательный разрядъ. Продолжительность искры при разрядѣ лейденской банки очень мала; по опытамъ Витстона она составляетъ около $\frac{1}{24\,000}$ секунды. Но разрядъ не мгновененъ, а, какъ впервые теоретическимъ путемъ установилъ Гельмгольцъ, колебательный, т.-е. между обѣими обкладками происходитъ прямое и обратное теченіе электричества, при этомъ продолжительность каждаго колебанія при разрядѣ банки составляетъ около $\frac{1}{1\,000\,000}$ секунды. Опытное подтвержденіе этому дано Феддерсеномъ, который наблюдалъ разрядную искру помощью очень *быстро вращающагося зеркала и видѣлъ, что она разбивалась на рядъ отдѣльныхъ искръ.*

Электрофоръ, если только дѣло идетъ о полученіи незначительныхъ количествъ электричества, можетъ служить вмѣсто электрической машины. Онъ состоитъ изъ смоляного, по возможности, гладкаго (безъ разрывовъ и трещинъ) круга, лучше всего изъ шеллака и венеціанскаго терпентина, вылитыхъ на металлическую, *отведенную къ землѣ пластинку*, отъ 25 до 50 см. въ поперечникѣ и около 1—2 см. толщиной. Ударами совершенно сухого кошачьяго мѣха или лисьяго хвоста онъ электризуется отрицательно. Если затѣмъ положить на смоляной кругъ нѣ*сколько меньшую металлическую* крышку, снабженную уединяющею рукояткой или подвѣшенную на шелковыхъ шнуркахъ, то отрицательное электричество круга дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на нейтральное электричество крышки; положительное собирается на нижней поверхности, гдѣ и остается въ связанномъ состояніи, свободное же отрицательное электричество отталкивается, *переходитъ на верхнюю поверхность крышки и пальцемъ можетъ быть отведено* къ землѣ (рис. 615, слѣва). Пока крышка лежитъ на кругѣ, положительное электричество на нижней поверхности связано; но лишь только крышка будетъ поднята, электричество становится свободнымъ, и его можно извлекать изъ крышки также въ формѣ искръ (рис. 615, справа). Такъ какъ смоляной кругъ сохраняетъ сообщенное ему ударами электричество, то предыдущее можно повторять сколько угодно разъ; только при накладываніи крышки всякій разъ слѣдуетъ касаться ея верхней поверхности.

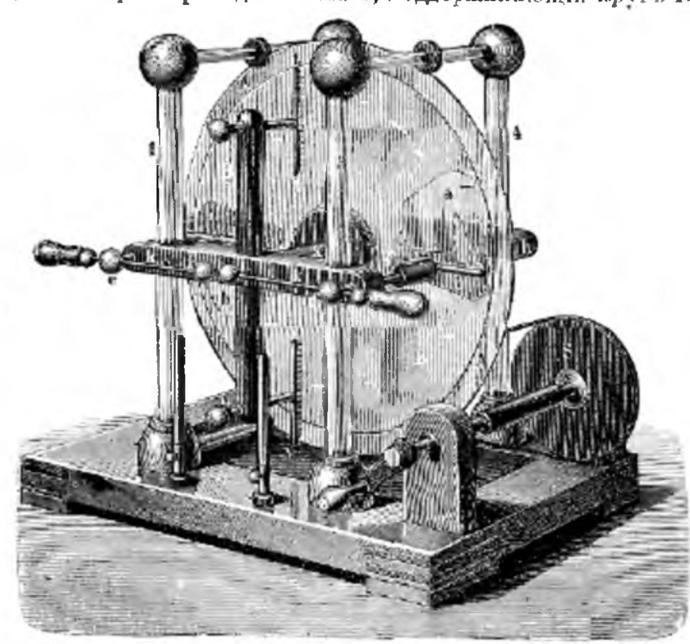


615. Электрофоръ.

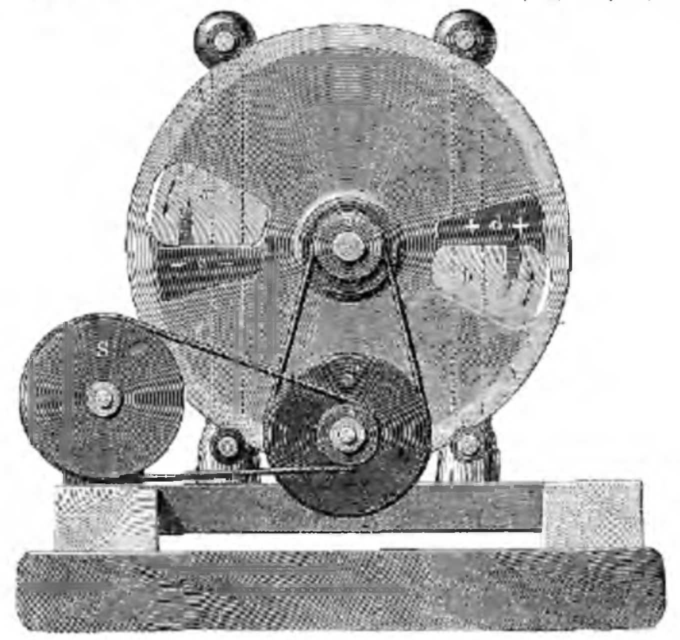
Индукціонная электрическая машина. Если бы можно было дѣйствовать электрофоромъ непрерывно, то получилась бы новая форма электрической машины. Эти соображенія руководили двумя нѣмецкими физиками: Гольцемъ въ Берлинѣ и Теплеромъ въ Дерптѣ, и привели ихъ почти одновременно и независимо другъ отъ друга къ изобрѣтенію „электрической индукціонной машины“, которая представлена на рис. 616 и 617 въ двухъ видахъ, сзади и спереди.

Она состоитъ изъ двухъ расположенныхъ параллельно и рядомъ стеклянныхъ *круговъ A и B, изъ которыхъ первый, нѣсколько большій, A неподвиженъ*, тогда какъ *B* помощью шнурка можетъ быть приведенъ въ быстрое вращеніе. Стеклянный кругъ *A* плотно держится въ эбонитовыхъ кольцахъ, которыя помѣщены на горизонтальныхъ стеклянныхъ стержняхъ, идущихъ

отъ вертикальныхъ стеклянныхъ столбовъ 1, 2, 3, 4. Въ серединѣ его сдѣлана круглая вырѣзка, въ которой проходитъ валъ *x*, поддерживающій кругъ *B*. Этотъ валъ *x* вращается на стальныхъ остріяхъ въ двухъ поперечинахъ *k* и *h*, помѣщенныхъ съ одной стороны между столбами 1 и 3 и съ другой стороны между 2 и 4. На поперечникѣ *k* находятся собиратели *g* и *i*, обращенные своими остріями къ кругу *B* и оканчивающіеся шариками *f* и *e*; въ послѣднихъ просверлены отверстія, черезъ которыя проходятъ стержни, снабженные двумя разрядными шариками *n* и *p*, такъ что *n* и *p* могутъ быть на любое разстояніе придвинуты или удалены другъ отъ друга. Два другіе кондуктора *t* и *v* помѣщены на вертикальномъ эбонитовомъ стержнѣ, поддерживаемомъ также поперечиной *k*.



616. Индукціонная электрическая машина Гольца. (Видъ спереди).



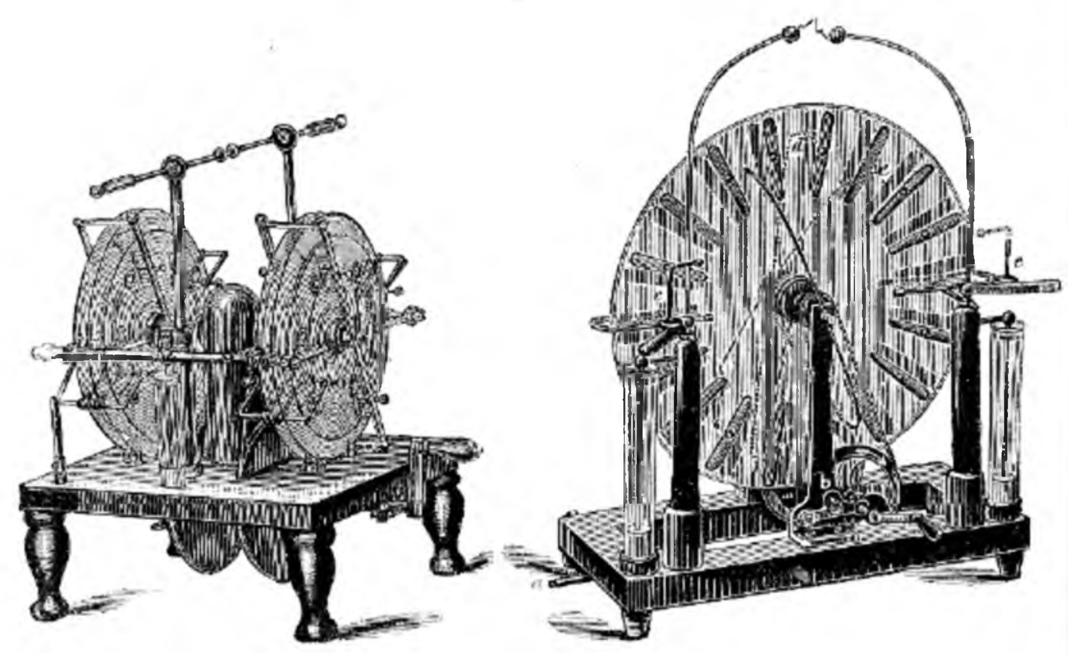
617. Индукціонная электрическая машина Гольца. (Видъ сзади).

Неподвижный стеклянный кругъ *A* имѣетъ двѣ діаметрально расположенныя вырѣзки *a* и *b* и двѣ бумажныя накладки съ остріями *c* и *d* изъ пергаментной бумаги, выступающими въ вырѣзки. Стеклянный кругъ, бумажныя накладки и острія покрыты шеллакомъ.

Для приведенія машины въ дѣйствіе сдвигаютъ вмѣстѣ шарики *n* и *p*, сообщаютъ электричество накладкѣ *c*, напр., отрицательное при помощи натертой палочки сургуча, и вращаютъ стеклянный кругъ *B* по направленію стрѣлки, навстрѣчу пергаментнымъ остріямъ. Отрицательное электричество

накладки *e* дѣйствуетъ черезъ вліяніе на противолежащій ей собиратель *g*, отталкиваетъ его отрицательное электричество въ шарикъ *n*, тогда какъ его положительное электричество устремляется къ остріямъ, съ нихъ стекаетъ на стеклянный кругъ *B* и увлекается, пока вращающійся кругъ не достигнетъ другой вырѣзки *b*. Здѣсь положительное электричество переходитъ на пергаментное остріе *d*, и теперь съ положительно заряженной накладкой *d* и собирателемъ *i* повторяется то же, что и раньше, но въ противоположномъ смыслѣ: положительное электричество устремляется изъ *i* въ *p* и нейтрализуетъ отрицательное на *n*, тогда какъ отрицательное электричество переносится на накладку *e*, слѣдовательно, усиливаетъ ея первоначальный зарядъ.

Такимъ образомъ, заряды накладокъ все усиливаются, что можно слышать по истеченію электричества съ остріевъ собирателей *g* и *i*, и ясно видно



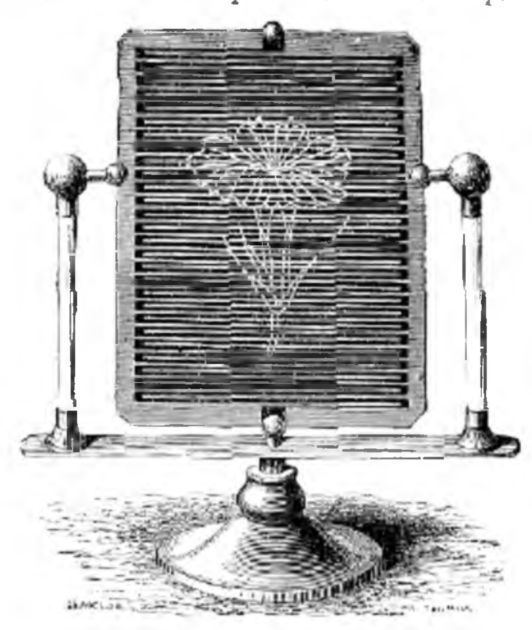
618. Самовозбуждающаяся индукціонная машина Теплера.

619. Самовозбуждающаяся индукціонная машина Уимшорста.

въ темнотѣ; это усиленіе имѣетъ предѣлъ, обусловливаемый изолирующей способностью вращающагося круга. Если затѣмъ постепенно удалять другъ отъ друга электродные шарики *n* и *p*, то между ними образуется непрерывный потокъ искръ. При хорошей изоляціи и сухомъ воздухѣ на машинѣ Гольца можно получить искры такой длины, которая соотвѣтствуетъ крайнему удаленію обоихъ электродныхъ шариковъ. Дѣйствіе можно еще усилить, если соединить электроды съ внутренними обкладками двухъ лейденскихъ банокъ, внѣшнія обкладки которыхъ соединяются между собою и отводятся къ землѣ. Два вертикальные собиратели *t* и *v*, если ихъ соединить металлической дугой, служатъ для того, чтобы собирать съ вращающагося круга излишекъ электричества и нейтрализовать его въ томъ случаѣ, когда этотъ кругъ долженъ не вполнѣ отдавать свое положительное, или отрицательное электричество пергаментному острію *d*, или *e*.

Теплеръ построилъ **самовозбуждающіяся индукціонныя машины**, въ которыхъ на вращающемся кругѣ расположены въ равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга металлическія накладки, задѣвающія при вращеніи

за металлическія кисти. Вызываемое этимъ треніемъ электричество достаточно для возбужденія машины. Онъ устроилъ очень большія машины этого рода съ шестью неподвижными и шестью вращающимися кругами. Рис. 618 представляетъ машину Теплера съ четырьмя неподвижными и четырьмя вращающимися кругами, тогда какъ рис. 619 представляютъ индукціонную машину Уимшерста, съ двумя вращающимися въ противоположномъ направленіи кругами; послѣдніе имѣютъ на наружныхъ своихъ сторонахъ лучевидныя накладки, которыя при вращеніи задѣваютъ за металлическія кисти.


620. Электрическая иллюминація.

Электрическіе опыты. Помощью электрической машины и лейденской банки возможно произвести большое число интересныхъ опытовъ. Извѣстны электрическіе колокольчики, электрическая пляска шариковъ и куколокъ и подобные опыты, состоящіе въ томъ, что легкія тѣла притягиваются и отталкиваются между двумя пластинками, заряженными различными электричествами.

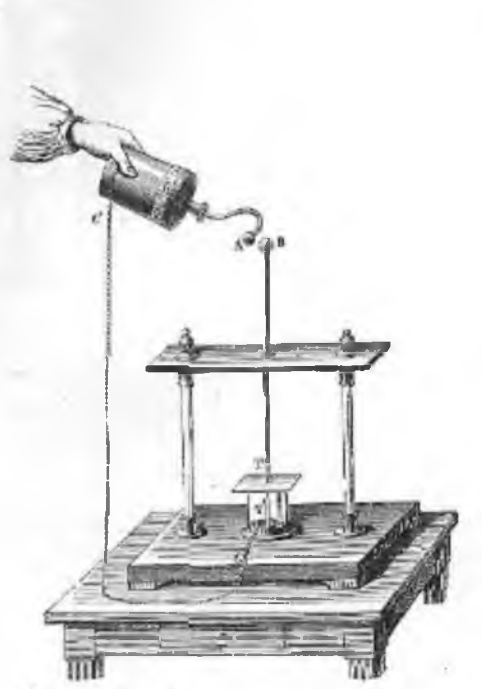
Другіе опыты и приборы основаны на свѣтовыхъ и тепловыхъ дѣйствіяхъ электрической искры: электрическая иллюминація (рис. 620) представляетъ стеклянную доску, мозаично обклеенную кусочками листового олова; промежутки между маленькими металлическими листочками вслѣдствіе проскакиванія по доскѣ искръ свѣтятся и, такимъ образомъ, можно получить любой свѣтящійся узоръ. Подобнымъ образомъ устроены свѣтящіяся трубки: стеклянная трубка съ металлическими концами обклеена спиральной полоской изъ листового олова, которая имѣетъ перерывы.


621. Электрическая мортира.

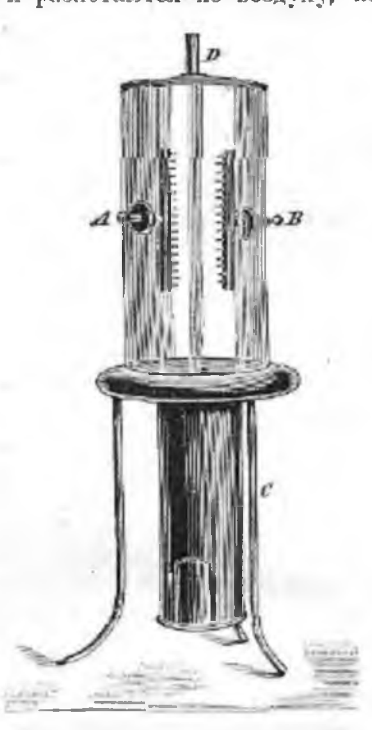
Такъ называемыя ртутныя трубки суть безвоздушныя стеклянныя трубки, которыя насаживаются звѣздообразно на ось и содержатъ внутри ртуть. Если привести ихъ во вращеніе около оси, то капельки ртути падаютъ на стеклянныя стѣнки и при этомъ треніемъ возбуждаютъ электричество, которое наполняетъ безвоздушное пространство волшебнымъ сіяніемъ.

Если трубку, снабженную двумя проводами, наполнить смѣсью водорода и кислорода, то, заставляя проскакивать электрическую искру внутри между проводами, можно воспламенить смѣсь и шарикомъ съ силою выстрѣлить изъ трубки. По образцу этого, такъ называемаго электрическаго пистолета, но только въ большемъ размѣрѣ, устроена газовая машина Ленуара. Подобнымъ образомъ можно зажечь порохъ; на практикѣ пользуются этимъ при взрываніи большихъ каменныхъ массъ. Въ электрической мортирѣ (рис. 621) теплота, развивающаяся при проскакиваніи искры между T и T', настолько расширяетъ замкнутую массу воздуха, что загораживающій отверстіе шаръ B отбрасывается.

Очень сильныя дѣйствія получаются при разрядѣ лейденской банки или батареи изъ лейденскихъ банокъ. Такими искрами пробивается крѣпкій картонъ, просверливается толстый стеклянный кругъ, если расположить опытъ такъ, какъ представлено на рис. 622. Пробиваемый стеклянный кругъ помѣщается между двумя остріями T и T', которыя по возможности должны быть сближены. Если затѣмъ приближать къ головкѣ B внутреннюю обкладку A сильно заряженной банки до тѣхъ поръ, пока между ними не перескочитъ искра, то послѣдняя легко пробиваетъ находящуюся между T и T' стеклянную пластинку. Металлическія проволоки сильной искрой могутъ быть накалены, болѣе тонкія — расплавлены; тонкія платиновыя или серебряныя проволоки горятъ ослѣпительнымъ свѣтомъ и разлетаются по воздуху, какъ




622. Пробиваніе стекла искрой отъ лейденской банки.



623. Приборъ Лоджа для сгущенія дыма.

туманъ. Едва ли слѣдуетъ еще особо указывать, что такія дѣйствія должны быть весьма ощутительны и для нервовъ. Если искра кондуктора причиняетъ только колющее раздраженіе, то разрядъ сильной электрической батареи можетъ мгновенно лишить человѣка сознанія, даже можетъ дѣйствовать еще опаснѣе, такъ что, когда дѣлаютъ опыты съ сильными батареями, слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы тѣло не было введено въ цѣпь между внутренней и внѣшней обкладкой.

Здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть объ очень интересныхъ опытахъ, основанныхъ на дѣйствіи остріевъ, которые произвелъ въ новѣйшее время съ индукціонной машиной англійскій физикъ Лоджъ съ цѣлью сгустить дымъ помощью ея электричества, и которые могутъ быть показаны на приборѣ, представленномъ на рис. 623. Черезъ отверстія A и B въ стеклянномъ цилиндрѣ проходятъ два электрода, снабженные остріями. Стеклянный цилиндръ покоится на пластинкѣ, имѣющей посрединѣ отверстіе надъ помѣщеніемъ C, гдѣ образуется дымъ, и имѣетъ сверху отводную трубку D, необ-

ходимую для тяги воздуха. Если образовать въ стеклянномъ цилиндрѣ дымъ, сжигая въ помѣщеніи C трутъ или селитряную бумагу и т. д., затѣмъ соединить электроды A и B съ полюсами самовозбуждающейся индукціонной машины и привести послѣднюю въ дѣйствіе, то вскорѣ наблюдаютъ клубы дыма и его исчезновеніе, т.-е. сгущеніе. Этимъ способомъ часто пользуются для сгущенія вреднаго дыма въ рудникахъ.

Молнія. Изъ всѣхъ явленій природы молнія и громъ издавна оказывали могущественное вліяніе на воображеніе народовъ и, по большей части, принимались за демоническія проявленія божеской власти. Jupiter tonans управляетъ міромъ, и молнія есть символъ его могущества. Простодушное пониманіе природы довольствуется тѣмъ, что относитъ всѣ явленія къ волѣ божества, оно не ищетъ другихъ причинъ явленій, но со смиренной преданностью переноситъ всѣ вредныя дѣйствія, какъ свою судьбу. Съ возникновеніемъ естественныхъ наукъ стала ощущаться потребность естественнаго объясненія. Конечно, еще долгое время понятія о грозѣ и попытки объясненія ея оставались недостаточными.

Бёрхавъ и Мушенбрёкъ, подобно Аристотелю, считали еще молнію за самовозгораніе подвѣшенныхъ въ воздухѣ масляныхъ и сѣрныхъ паровъ, къ которымъ будто бы примѣшивалась селитра. Даже Декартъ думалъ, что молнія есть явленіе свѣта, происходящаго вслѣдствіе извѣстнаго стягиванія частей облаковъ, съ которымъ должно быть связано по необходимости развитіе теплоты; громъ же происходитъ оттого, что массы облаковъ съ большой высоты внезапно обрушиваются на лежащія внизу облака. Съ изобрѣтеніемъ электрической машины и вслѣдствіе произведенныхъ съ нею опытовъ вскорѣ достигли тѣхъ точекъ зрѣнія, которыя обнаружили недостаточность прежнихъ попытокъ объясненія.

Англійскій физикъ Уолъ былъ первый (1708), который искоркамъ и треску, наблюдаемымъ при треніи янтаря, приписалъ нѣкоторое подобіе съ громомъ и молніей. Грей и Ноллетъ и позже Винклеръ въ Лейпцигѣ рѣшительно утверждали тождество явленій и объясняли, что единственное различіе между искрой, извлекаемой изъ кондуктора электрической машины и молніей заключается въ относительной силѣ обоихъ. Дѣйствительное же доказательство этого утвержденія далъ путемъ прямого опыта великій американскій гражданинъ Веніаминъ Франклинъ. Помощью бумажнаго змѣя, который запускался въ грозовое облако, онъ извлекалъ изъ послѣдняго электричество, дѣлая шнурокъ проводящимъ, и съ электричествомъ, добытымъ изъ облаковъ, онъ производилъ совершенно тѣ же опыты, что и съ электричествомъ, получаемымъ при вращеніи стекляннаго круга, и такъ какъ по причинѣ большого количества электричества, получаемаго имъ новымъ путемъ, опыты выходили болѣе блестящими, нежели ранѣе, то вскорѣ опыты Франклина стали повторяться повсемѣстно учеными и непосвященными, и, къ сожалѣнію, не обошлись тогда безъ крупныхъ жертвъ. Такъ, напр., физикъ Рихманъ въ Петербургѣ, опытный и осторожный наблюдатель, во время своихъ опытовъ былъ пораженъ ударившей изъ проводника молніей.

Молнія есть не что иное, какъ электрическая искра большихъ размѣровъ, вызываемая возстановленіемъ въ воздухѣ электрическаго равновѣсія.

Атмосфера всегда содержитъ, хотя и слабый, зарядъ электричества. Причина происхожденія этого атмосфернаго электричества еще такъ же мало выяснена, какъ и непосредственное образованіе грозы. Пока мы должны довольствоваться тѣмъ фактомъ, что при разнообразныхъ, безпрерывно происходящихъ въ нашей атмосферѣ, явленіяхъ, напр., при парообразованіи и сгущеніи воды, при химическихъ процессахъ растительной жизни, перемѣнѣ температуры, а также направленія и силы вѣтра образуются еще не выясненнымъ образомъ большія количества электричества, которыя подымаются

вверхъ вмѣстѣ съ восходящими водяными парами и постепенно накопляются въ облакахъ. Электрическое поле въ воздухѣ возникаетъ обыкновенно такое, что какъ-будто земля заряжена отрицательнымъ электричествомъ. Такое наэлектризованное облако дѣйствуетъ черезъ вліяніе, подобно заряженному кондуктору, на находящіяся внизу тѣла (земля), одноименное ихъ электричество отталкиваетъ, разноименное притягиваетъ; послѣднее скопляется въ ближайшихъ къ облаку, болѣе высокихъ мѣстахъ, въ вершинахъ деревьевъ, на конькахъ крышъ, на остріяхъ башенъ и т. д. Между облакомъ и землею, какъ между двумя заряженными разноименными электричествами кондукторами, существуетъ напряженіе; разноименныя электричества стремятся притянуться, тогда какъ находящійся между ними воздухъ, какъ изоляторъ, препятствуетъ ихъ соединенію. Но это препятствіе преодолѣвается, лишь только напряженіе, будетъ ли это слѣдствіемъ увеличенія заряда облака или приближенія послѣдняго къ землѣ, становится достаточнымъ, чтобы пробить изоляторъ; тогда слѣдуетъ разрядъ въ видѣ падающей на землю молніи.

Въ новѣйшее время французскій метеорологъ Марсель Брилуэнъ далъ объясненіе образованія атмосфернаго электричества, исходя изъ того научнаго факта, что всякое металлическое тѣло, заряженное отрицательнымъ электричествомъ, теряетъ свой зарядъ подъ дѣйствіемъ ультрафіолетовыхъ лучей свѣта. По опытамъ Брилуэна сухой ледъ, если онъ заряженъ отрицательнымъ электричествомъ и выставленъ подъ ультрафіолетовые лучи, подобно металлу, также теряетъ свой отрицательный зарядъ, тогда какъ это происходитъ въ весьма ограниченной мѣрѣ и очень медленно въ томъ случаѣ, если на льду находится вода. Находящіяся на большой высотѣ въ атмосферѣ перистыя облака состоятъ изъ ледяныхъ иглъ. Будучи освѣщаемы солнцемъ, свѣтъ котораго богатъ ультрафіолетовыми лучами, онѣ должны отдавать свое электричество воздуху. По Брилуэну перистыя облака заряжаются электричествомъ подъ дѣйствіемъ земного магнитизма.

Сильно заряженное облако дѣйствуетъ черезъ вліяніе, какъ на землю, такъ и на другія облака, и такъ какъ облака могутъ легко сближаться, то разрядъ между облаками происходитъ легче и чаще, нежели между облаками и землей. Иногда процессъ разряда происходитъ спокойнымъ образомъ, такъ что мѣняются только видъ и плотность облаковъ, и то или другое облако вполнѣ разряжаются. Но часто при сильномъ электрическомъ напряженіи и сухомъ воздухѣ разряды слѣдуютъ въ формѣ грозы, которая возникаетъ между облаками, и при которой молнія на землю не падаетъ. Образующіяся при этомъ электрическія искры могутъ быть огромной длины; такъ, наблюдали, что молніи пронизывали пространство отъ 70 и болѣе километровъ.

Почти всѣмъ, что извѣстно относительно грозы, мы обязаны Веніамину Франклину, родившемуся въ Бостонѣ 17 января 1706 г., пятнадцатымъ въ своемъ семнадцатичленномъ семействѣ; великій его геній обнаружился очень рано, но результаты его многостороннихъ изслѣдованій стали извѣстны человѣчеству только въ сороковыхъ годахъ прошлаго столѣтія (XVIII).

Въ 1748 г. онъ высказалъ, что гроза есть не что иное, какъ соединеніе двухъ противоположныхъ электричествъ, а молнія — громадная электрическая искра, которая, если попадаетъ на хорошо проводящія тѣла, не оказываетъ никакихъ разрушительныхъ дѣйствій на своемъ пути, но при переходѣ черезъ изоляторы отъ одного проводника къ другому можетъ причинять разрушеніе, воспламенять и плавить. Открытіе, что молнія ударяетъ преимущественно въ остроконечные выступы, какъ башни, мачты, деревья и т. д., навело Франклина на смѣлую мысль попробовать извлечь электричество изъ грозового облака, и, такимъ образомъ, онъ произвелъ тотъ знаменитый опытъ, опасность котораго для жизни онъ, конечно, не подозрѣвалъ. Къ верхнему

концу большого змѣя, сдѣлашаго изъ шелковой матеріи и натянутаго на рамку, онъ прикрѣплялъ желѣзное остріе. Змѣй запускался на пеньковомъ шнуркѣ, продолженіе котораго составлялъ шелковый шнурокъ; на концѣ послѣдняго привѣшивался ключъ въ качествѣ рукоятки. Снарядившись, такимъ образомъ, Франклинъ въ одинъ изъ лѣтнихъ дней 1752 г., при приближеніи грозы, въ сопровожденіи только своего сына, пошелъ на лугъ, лежащій близъ Филадельфіи, и запустилъ змѣй. Хотя змѣй поднялся высоко и былъ плотно окруженъ грозовыми облаками, Франклинъ не замѣчалъ ни малѣйшаго слѣда электричества; онъ уже опасался, что не ошибся ли въ своемъ взглядѣ на природу грозы, какъ вдругъ, послѣ того, какъ нить отъ мелкаго дождя намокла, къ величайшей своей радости онъ замѣтилъ, что отдѣльныя волокна шелковаго шнурка *стали подыматься совершенно такъ, какъ если бы онѣ висѣли на кондукторѣ электрической машины.* Очевидно это служило признакомъ того, что съ грозовыхъ облаковъ течетъ внизъ электричество; сильно обрадовавшись, онъ поднесъ къ ключу свой согнутый палецъ: тогда на его тѣло перескочила сильная электрическая искра. Воздушное электричество, слѣдовательно, оказывало такое же дѣйствіе, какъ и электричество, получаемое искусственнымъ путемъ. Къ счастью шнурокъ былъ достаточно влаженъ для того, чтобы служить хорошимъ проводникомъ, однако, опытъ легко могъ бы стоить жизни Франклина. Тогда для большаго удобства, онъ поставилъ въ своемъ домѣ желѣзный стержень, снабдивъ нижній его конецъ двумя колокольчиками; послѣдніе звонили всякій разъ, какъ воздухъ имѣлъ достаточно сильное электрическое напряженіе. Впослѣдствіи ему удавалось легко заряжать лейденскую банку и работать съ ней.



624. Фотографія молніи.

Опыты Франклина, на основаніи которыхъ оксфордскій университетъ въ 1762 г. присудилъ американскому гражданину степень доктора, многократно были повторяемы и соотвѣтственнымъ образомъ измѣняемы. Такъ, напр., французъ де-Рома привязывалъ свой змѣй къ шнурку, въ который была вплетена металлическая проволока; чтобы оградить себя отъ дѣйствій молніи, онъ прикрѣплялъ къ концу этого шнурка другой шнурокъ — шелковый, длиною въ нѣсколько метровъ. Искру онъ извлекалъ не пальцемъ, но помощью металлическаго проводника, съ изолированной рукояткой, соединеннаго съ землей желѣзной цѣпью. Змѣй подымался на 180 метровъ высоты и проходилъ слои воздуха, сильно заряженные электричествомъ, ибо въ теченіе одного часа де-Рома получалъ среди треска, напоминающаго выстрѣлы изъ *пистолета, 30 огненныхъ лучей, изъ которыхъ каждый былъ почти 3 метра* длиною. Благодаря столь блестящимъ результатамъ взглядъ Франклина на природу грозы сталъ общепризнаннымъ.

Рис. 624 представляетъ часть особенной молніи, сфотографированной въ іюлѣ 1884 г. профессоромъ Кайзеромъ. Главный лучъ состоитъ изъ четырехъ рядомъ лежащихъ параллельныхъ лучей: слѣва самый сильный лучъ, къ которому справа примыкаетъ широкая свѣтлая полоса; затѣмъ слѣдуютъ

два рядомъ идущіе луча и на еще большемъ разстояніи — четвертый лучъ. Вѣроятно, эта лучевая форма есть слѣдствіе колебательнаго разряда, при которомъ въ очень короткіе промежутки времени происходятъ разряды въ противоположныхъ направленіяхъ. Согласно этому объясненію, первая искра оставляетъ на своемъ пути каналъ изъ раскаленнаго воздуха, слѣдующая искра, идущая отъ земли къ облакамъ, выбираетъ тотъ же каналъ, который въ сущности еще остался и только немного сдвинутъ вѣтромъ и т. д. Отъ четырехъ главныхъ частей молніи идетъ еще бо́льшее число боковыхъ разрядовъ, частью развѣтвляющихся еще далѣе.

Громъ во время грозы объясняется просто колебаніями сильно сотрясеннаго воздуха. Молнія, пронизывая атмосферу, настолько сильно накаливаетъ встрѣчныя частицы воздуха, что онѣ расширяются вдругъ въ тысячи разъ *противъ прежняго объема; но затѣмъ, когда теплота распредѣлится*, онѣ опять сталкиваются. Происходитъ дѣйствіе, подобное дѣйствію ружейнаго выстрѣла, и отраженіе звука отъ различныхъ слоевъ облаковъ, отъ горъ и лѣсовъ вызываетъ эхо и постепенно затихающій шумъ грома. Такъ какъ звукъ распространяется медленнѣе свѣта, то мы видимъ молнію раньше и сразу по всей ея длинѣ, тогда какъ громъ достигаетъ до нашего уха позже и постепенно все отъ болѣе и болѣе отдаленныхъ точекъ искры, часто имѣющей длину въ нѣсколько миль. Мы слышимъ о приближеніи грозы, не глядя на неё, по грому, который становится все сильнѣе и сильнѣе. Вблизи мѣста удара, слышенъ, какъ извѣстно, одновременно съ молніей отдѣльный ударъ съ трескомъ; если же гроза на разстояніи, то между молніей и громомъ является промежутокъ времени тѣмъ большій, чѣмъ больше это разстояніе.

Громъ даетъ удобный способъ судить о томъ, насколько удалена отъ насъ гроза. Молнія и громъ происходятъ одновременно; скорость свѣта можетъ быть принята для земныхъ разстояній мгновенною, а звукъ проходитъ въ секунду въ среднемъ только 330 метровъ: слѣд. намъ нужно только число секундъ, протекшее между молніей и громомъ, умножить на 330, и мы узнаемъ такимъ образомъ разстояніе грозы въ метрахъ.

Относительно тѣхъ стрѣлъ, *которыя находятъ въ нѣкоторыхъ мѣст*ностяхъ послѣ сильныхъ грозъ и ливней по скатамъ горъ и низовьямъ долинъ, то раньше принималось, что онѣ попадаютъ въ землю одновременно съ молніей. Но съ тѣхъ поръ, какъ эти продолговато-круглыя, спереди заостренныя каменистыя образованія найдены были вкрапленными также въ слоистыхъ горныхъ породахъ, *стало извѣстно, что это суть окаменѣлости* допотопныхъ, улиткообразныхъ животиыхъ; и геологія, которая весьма далека отъ того, чтобы искать свои источники надъ нашими головами, открыла родину этихъ белемнитовъ, напротивъ того, въ глубинѣ тинистаго моря.

Дѣйствія молніи. Накаливаніе молніей увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ встрѣчаемаго ею на пути сопротивленія. Въ верхнихъ слояхъ атмосферы, гдѣ воздухъ весьма разрѣженъ и, слѣд., представляетъ электрическому разряду только ничтожное сопротивленіе, молнія слѣдуетъ въ видѣ безшумной зарницы; тогда какъ для того, чтобы пробить нижніе слои воздуха, требуется вслѣдствіе бо́льшаго ихъ сопротивленія большое напряженіе. Если молнія встрѣчаетъ хорошо проводящее тѣло съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ, то она проходитъ по нему безъ замѣтныхъ слѣдовъ; но если она попадаетъ на тонкія проволоки или даже на сухое, смолистое дерево, то она накаливаетъ ихъ до плавленія. Но искрой могутъ быть легко расплавлены также и толстые желѣзные стержни, а менѣе проводящія тѣла — и совсѣмъ разбиты вдребезги. Въ связи съ большимъ выдѣленіемъ теплоты стоятъ огромныя механическія дѣйствія удара молніи. Когда молнія ударяетъ въ дерево, то она прокладываетъ себѣ путь преимущественно между корой и дре-

весною во влажной заболони; вода мгновенно обращается въ паръ, и этимъ объясняются особенные разрывы и расщепленія, которые наблюдаются на пораженныхъ молніей деревьяхъ.

Та самая молнія, которая умѣренно нагрѣваетъ толстые стержни громоотвода, совсѣмъ расплавляетъ позолоту на картинныхъ рамахъ, если проходитъ по нимъ. Гумбольдтъ разсказываетъ въ своемъ „Космосѣ", что во время своего путешествія въ Южной Америкѣ, гдѣ грозы свирѣпствуютъ съ незнакомой для насъ силой, онъ наткнулся на скалы, поверхность которыхъ была остеклована молніей. Трубки, часто находимыя въ ровныхъ песчаныхъ мѣстностяхъ и тянущіяся или развѣтвляющіяся подъ поверхностью земли болѣе, чѣмъ на 12 метровъ, состоятъ изъ песка и частей земли, которые ударомъ молніи бываютъ расплавлены и сцѣплены между собою въ видѣ трубки.



634a. Веніаминъ Франклинъ.

Молнія часто оказываетъ сильныя механическія дѣйствія. 2 августа 1809 г. близъ Манчестера молнія ударила въ землю между подваломъ и цистерной и сдвинула стѣну толщиной въ 1 метръ, высотой въ 4 м. такъ, что сдвинутая часть перемѣстилась на одной сторонѣ болѣе 1 метра, на другой на 3 м., причемъ всѣ деревянныя соединительныя части были разрушены. Въ сдвинутой части стѣны было 7000 кирпичей съ общимъ вѣсомъ около 26000 килограммовъ.

Полное размагничиваніе компасной стрѣлки при ударѣ молніи въ корабельныя мачты есть нерѣдко наблюдаемое явленіе.

Громоотводъ. Нѣкоторые факты, повидимому, указываютъ, что уже въ древности были дѣланы попытки устраивать приспособленія съ цѣлью огражденія отъ разрушительныхъ дѣйствій молніи. Высокія мѣдныя статуи временъ Нумы Помпилія и Тулла Гостилія должны были имѣть назначеніе отводить внизъ искры. Ктезіасъ разсказываетъ о древнихъ индійцахъ, что будто они употребляли какое-то желѣзо для отвода молніи. Во времена Карла Великаго былъ обычай ставить на поляхъ высокіе колья для отвода грозы съ градомъ, что однако самимъ Карломъ Великимъ было запрещено, какъ суевѣріе.

Раньше мы уже видѣли (стр. 519), что распредѣленіе и плотность электричества зависитъ существеннымъ образомъ отъ формы поверхности проводниковъ, что плотность преимущественно на заостренныхъ мѣстахъ больше,

чѣмъ на закругленныхъ, и что поэтому электричество легче истекаетъ съ первыхъ мѣстъ — явленіе, легко наблюдаемое въ темнотѣ. При описаніи электрическихъ машинъ мы сказали о дѣйствіи остріевъ. Въ послѣднемъ также заключается причина замѣчательнаго явленія природы, объясненіе котораго долгое время представляло, повидимому, большія затрудненія, это такъ называемые огни св. Эльма.

Въ душные вечера на остріяхъ громоотводовъ, на верхушкахъ башенъ, на углахъ металлическихъ водосточныхъ трубъ иногда наблюдаются маленькіе *голубые огоньки, которые, появившись, черезъ нѣкоторое время сами* собою опять исчезаютъ. Это явленіе особенно часто обнаруживается на остріяхъ корабельныхъ мачтъ, и оно считалось древними греками и римлянами за признакъ скораго прекращенія бури. Два огонька, Касторъ и Поллуксъ, приносили счастье, одинъ же, Елена, считался гибельнымъ. Отъ послѣдняго имени должно быть произошли названія огонь св. Еліаса и Эльма. Впрочемъ, при очень сильномъ воздушномъ электричествѣ вовсе нѣтъ необходимости выдаваться остріямъ высоко надъ землей; огоньки можно замѣтить на головахъ статуй, на копьяхъ солдатъ, на шляпахъ путешественниковъ и т. д. Для насъ явленіе это не представляетъ больше ничего загадочнаго; это есть истеченіе и разряды электричествъ, возстановляющіе тихимъ и спокойнымъ путемъ электрическое равновѣсіе, которое можетъ быть возстановлено и молніей, но только въ сопровожденіи сильныхъ дѣйствій.

Громоотводъ преслѣдуетъ ту же цѣль, и геніальный изобрѣтатель его, будучи точно свѣдущъ въ тѣхъ явленіяхъ природы, основывался при его устройствѣ на дѣйствіи остріевъ.

Едва ли какое-либо изобрѣтеніе могло своимъ появленіемъ привести въ такое волненіе весь міръ, ученый и неученый, набожный и нечестивый, какъ изобрѣтеніе Франклина. Чувствовалось чрезвычайное значеніе его, но вѣра пришла въ столкновеніе съ наукой; возникшая борьба долго продолжалась и препятствовала благодатному введенію. Казалось дерзкимъ выхватить изъ руки милосердаго Бога столь удобное средство наказанія, какъ молнія.

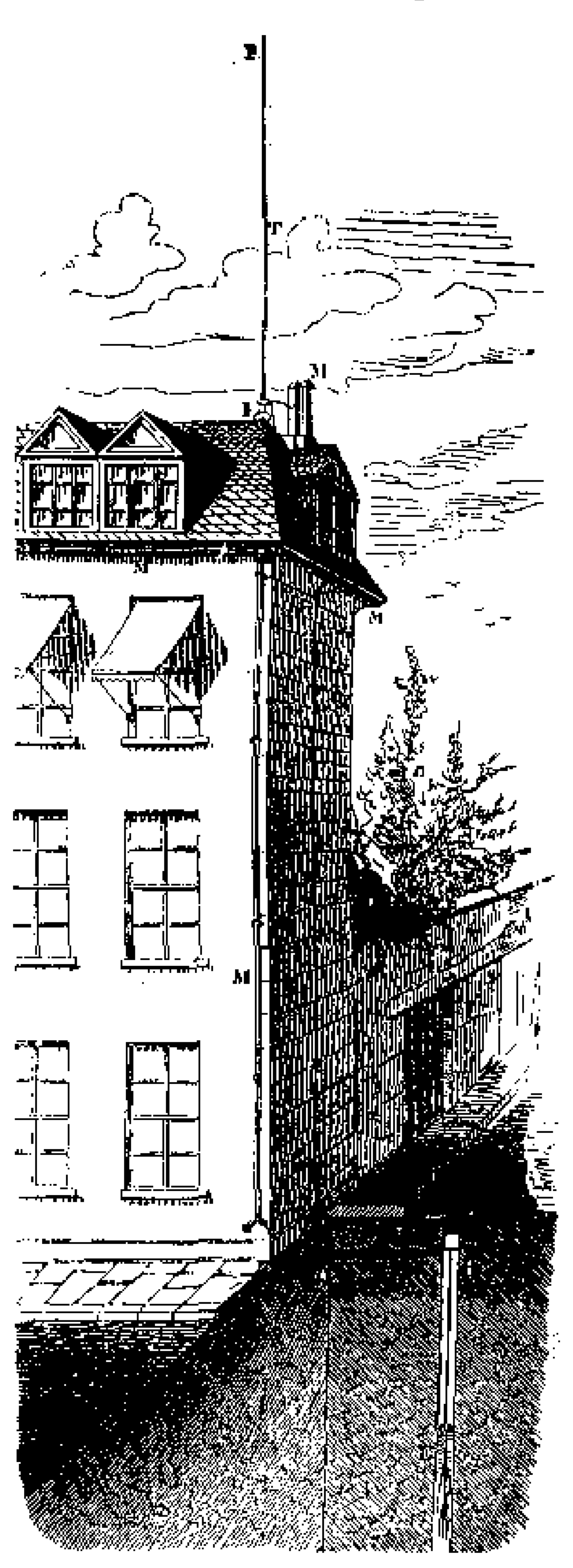
Это было въ 1760 г., когда Франклинъ воздвигнулъ первый громоотводъ, существенно ничѣмъ не отличавшійся отъ теперешнихъ, на домѣ купца Веста въ Филадельфіи: желѣзный прутъ длиною въ 3 метра и въ поперечникѣ 27 миллиметровъ, изолированный отъ зданія худыми проводниками, былъ металлически соединенъ съ землею. Франція и Англія долгое время не признавали новаго изобрѣтенія. Только около 1788 г. стали впервые устраиваться громоотводы на мачтахъ англійскихъ судовъ. Прошло продолжительное время прежде, чѣмъ стали устраивать ихъ на зданіяхъ.

Сильное вліяніе на введеніе громоотводовъ имѣлъ голосъ знаменитаго швейцарскаго физика Соссюра, который въ 1771 г. устроилъ громоотводъ *на своемъ домѣ въ Женевѣ и, чтобы успокоить возмущенныя этимъ бого*боязненныя души, напечаталъ и даромъ роздалъ брошюру касательно пользы проводниковъ электричества. Американское правительство самымъ энергичнымъ образомъ поддерживало идею Франклина. Въ 1782 г. Филадельфія на своихъ 1300 домахъ имѣла уже свыше 400 громоотводовъ; всѣ общественныя зданія, за исключеніемъ отеля французскаго посольства, были ими снабжены. И именно въ этотъ домъ ударила молнія 27 марта 1782 г. Она убила офицера, и тогда только французское посольство снабдило свой дворецъ громоотводомъ.

Въ самой Франціи, хотя и возвышались голоса аббата Ноллета и де-Рома въ пользу Франклина, только въ 1784 г. стали устраиваться громоотводы для огражденія порохового магазина и нѣкоторыхъ общественныхъ зданій.

Венеціанская республика уже въ 1788 г. снабдила свой флотъ огражденіемъ отъ грозъ. Фридрихъ Вильгельмъ II Прусскій приказалъ устраивать всюду въ своихъ владѣніяхъ громоотводы, но замѣчательно то, что онъ запретилъ ставить таковой на замкѣ Сансуси.

Громоотводъ состоитъ изъ трехъ частей: пріемнаго стержня съ остріемъ, отводящаго къ землѣ провода и колодезя, приспособленія, куда опускается проводъ. Для пріемнаго стержня берутъ крѣпкій, конически суживающійся кверху желѣзный прутъ, съ позолоченнымъ или платинированнымъ мѣднымъ остріемъ. Къ одному и тому же стержню часто придѣлываются еще два-три и болѣе простыхъ или копьеобразныхъ остріовъ. Нецѣлесообразно насаживать на пріемные стержни, въ видахъ увеличенія поверхности, шары вмѣсто остріевъ, такъ какъ громоотводъ долженъ не притягивать молнію, но, напротивъ, нейтрализовать существующія въ воздухѣ электрическія массы посредствомъ непрерывнаго испусканія земного электричества; слѣдовательно, онъ долженъ не предохранять однократнымъ отводомъ молніи, но при непрестанномъ дѣйствіи вновь возстановлять электрическое равновѣсіе. При проходѣ грозы надъ лѣсами съ островозвышающимися деревьями, электрическій разрядъ происходитъ обыкновенно безъ ударовъ. Каждый громоотводъ долженъ дѣйствовать подобно каждому отдѣльному дереву, но только въ сильнѣйшей мѣрѣ.



625. Громоотводъ.

Пріемный стержень JP (рис. 625) есть часть громоотвода, выступающая надъ крышей зданія въ воздухъ. Поперечное сѣченіе пріемнаго стержня мѣняется съ его высотой, которая составляетъ около 3—6 метровъ. Въ нижней части J, тамъ, гдѣ пріемный стержень опирается на конекъ дома, имѣется небольшая крышка для стока дождевой воды, имѣющая цѣлью держать сухимъ мѣсто прикрѣпленія къ балкамъ. Обыкновенно принимается, что пріемный стержень предохраняетъ кругъ поперечникомъ въ 12—16 метровъ; поэтому зданіе 20 метровъ длины должно имѣть по крайней мѣрѣ два стержня.

Назначенная французскимъ правительствомъ комиссія по вопросу о громоотводахъ, въ которой, между прочимъ, принимали участіе Араго, Біо, Пуассонъ, Жираръ, Френель, Гэй-Люссакъ, пришла на основаніи произведенныхъ изслѣдованій къ выводу, что громоотводъ, съ заостреннымъ пріемнымъ стержнемъ можетъ предохранять на круговомъ пространствѣ радіуса равнаго двойной высотѣ стержня; на этомъ основаніи комиссія предложила форму громоотводовъ, въ которой выдающіяся части крыши, трубы,

углы и т. д. соединялись бы сначала между собой посредствомъ свинцовыхъ и мѣдныхъ полосокъ, а затѣмъ съ главнымъ, отводящимъ къ землѣ проводникомъ. Флюгера, шесты со звѣздами или головками на богиняхъ, если они не слишкомъ далеко входятъ во внутрь балокъ и расположены не слишкомъ близко къ колоколамъ, могутъ тогда служить пріемниками.

Проводникъ *JC*, назначеніе котораго приводить пріемный стержень въ металлическое соединеніе съ землею, лучше всего брать изъ непрерывнаго, крѣпкаго мѣднаго каната. Главное требованіе, чтобы онъ нигдѣ не прерывался, и не былъ бы гдѣ-нибудь слишкомъ слабъ или поврежденнымъ: *такъ какъ онъ долженъ представлять для искры вѣрный и удобный путь въ* землю. Если стержней нѣсколько, то они должны быть соединены между собою и отведены при помощи главнаго провода. Толщина провода должна быть выбираема соотвѣтственно пріемнымъ стержнямъ въ цѣляхъ равномѣрнаго стока электричества.

Вводится въ землю проводъ на глубину 1—2 м. отъ основанія дома, отступя отъ него отъ *A* до *B* примѣрно, и погружаютъ при этомъ лучше всего въ колодезь *BE* или, если таковаго нѣтъ, то, по крайней мѣрѣ, настолько глубоко, чтобы онъ находился постоянно во влажномъ слоѣ земли. Желѣзный проводъ для предохраненія его отъ ржавчины долженъ быть выкрашенъ. Испорченное ржавчиной мѣсто представляетъ ту опасность, что молнія можетъ пройти по другому пути и произвести разрушеніе или пожаръ. Поэтому необходимо время-отъ-времени испытывать проводъ, какъ главную часть громоотвода, и немедленно исправлять. Проводку черезъ крышу и по стѣнамъ надежнѣе закрѣплять посредствомъ изолирующихъ поддержекъ. Это, впрочемъ, необходимо только тогда, когда проводка производится вблизи большихъ металлическихъ массъ, лежащихъ внутри зданія.

Полезно громоотводъ соединять съ металлическими желобами на крышѣ, съ желѣзными столбами, съ газо- и водопроводными трубами (газо- и водоизмѣрители должны быть при этомъ сообщены посредствомъ толстыхъ мѣдныхъ проволокъ), съ углами и выступами, могущими своей заостренной формой привлечь молнію. На рис. 625 обозначены черезъ *M* тѣ части зданія, которыя должны быть соединены съ главнымъ проводомъ громоотвода.

Третью часть громоотвода составляетъ погрузительное приспособленіе. Надлежащее соединеніе съ землею составляетъ необходимое условіе для хорошаго дѣйствія всей системы громоотвода. При плохомъ соединеніи громоотводъ не только не будетъ ограждать зданія отъ ударовъ молній, но представляетъ значительную опасность для него. Поэтому конецъ провода долженъ быть непремѣнно погруженъ во влажный грунтъ. Весьма цѣлесообразнымъ приспособленіемъ при этомъ надо считать развѣтвленіе конца провода, какъ это показано на рис. 625 (см. точку *E*), или соединеніе его съ большой металлической пластинкой, опущенной въ колодезь или въ грунтовый слой воды.

Гальванизмъ.

Открытіе Гальвани. Опытъ съ лягушкой. Основной опытъ Вольты. Электризація при соприкосновеніи. Рядъ Вольты. Проводники перваго класса. Свойства ряда Вольты. Проводники второго класса. Гальваническій элементъ. Вольтовъ столбъ. Электроскопъ Фехнера. Квадратный электрометръ Томсона. Постоянные элементы. Элементы Даніэля, Мейдингера и Калло. Элементы Грове и Бунзена. Элементъ Лекланше. Гальваническій токъ. Законъ Ома. Соединеніе элементовъ въ батареи. Развѣтвленіе тока. Мостикъ Витстона. Законы Кирхгофа. Приспособленія для замыканія тока.

Въ теченіе цѣлыхъ тысячелѣтій хладнокровное племя лягушекъ беззаботно совершало свой жизненный путь, какъ намѣтила его природа, свободно росло и наслаждалось земными благами, зная одного только врага, господина

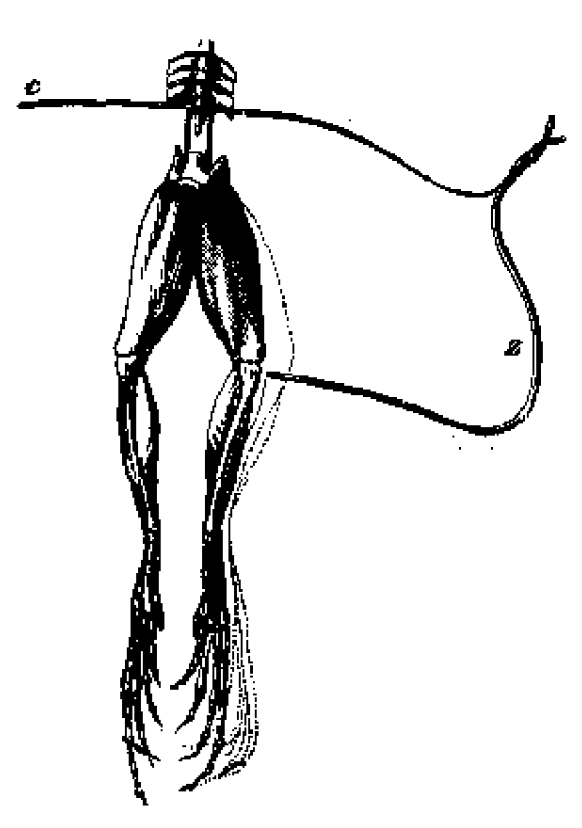
аиста, да еще, пожалуй, терпя уронъ отъ гурмановъ, которые требовали для себя жертвы, въ видѣ пары лягушечьихъ лапокъ со всего несмѣтнаго рода. Но въ исходѣ позапрошлаго столѣтія наступилъ желѣзный вѣкъ для лягушекъ. Злой рокъ воцарился надъ ними, и врядъ ли когда-либо лягушки отъ него освободятся. Затравлены, схвачены, замучены, скальпированы, обезглавлены и убиты — но и со смертью не пришелъ еще конецъ ихъ бѣдствіямъ. Лягушка стала физическимъ приборомъ, отдала себя въ распоряженіе наукѣ. Срѣжутъ ей голову, сдерутъ съ нея кожу, расправятъ мускулы и проткнутъ спину проволокой, она все же не смѣетъ уйти къ мѣсту вѣчнаго упокоенія; повинуясь приказанію физиковъ или физіологовъ, нервы ея придутъ въ раздраженіе и мускулы будутъ сокращаться, пока не высохнетъ послѣдняя капля „живой воды".

И все это лежитъ на совѣсти у Алоизіо Луиджи Гальвани, родившагося 9 сентября 1737 г. въ Болоньѣ; съ 1775 г. онъ былъ профессоромъ анатоміи въ университетѣ родного города, съ которымъ почти не разставался. Въ 1797 г. Гальвани былъ устраненъ нѣкоторое время отъ должности изъ-за своихъ политическихъ убѣжденій, но немного спустя снова возстановленъ въ прежнемъ званіи. Умеръ онъ также въ Болоньѣ 4 декабря 1798 г.


825. Алоизіо Луиджи Гальвани.

Исторія этого открытія, столь злосчастнаго для лягушекъ и столь полезнаго по тѣмъ послѣдствіямъ, какія извлечены были изъ него наукой, слѣдующая: досточтимой супругѣ Гальвани для подкрѣпленія былъ прописанъ бульонъ изъ лягушечьихъ лапокъ. Однажды, а именно 6 ноября 1780 г., Гальвани для этой цѣли было разложено нѣсколько лягушекъ, съ которыхъ кожа была содрана. Онъ самъ тогда какъ разъ работалъ надъ изслѣдованіями электрическихъ явленій, такъ какъ приписывалъ имъ большое вліяніе на мускулы и нервную систему человѣка. Производя опыты, онъ подмѣтилъ, что всякій разъ, какъ изъ кондуктора электрической машины извлекалась искра, всѣ (убитыя) лягушки заразъ судорожно вздрагивали. Чтобы испытать, не будетъ ли здѣсь также сказываться вліяніе атмосфернаго электричества, Гальвани привѣсилъ препарованныя лапки на мѣдной проволокѣ къ желѣзнымъ периламъ балкона и сталъ ихъ раскачивать, для того, чтобы по возможности увеличить поверхность соприкосновенія съ воздухомъ. Оказалось, что лапы лягушки оставались въ покоѣ, если только не касались рѣшетки; въ послѣднемъ случаѣ опять-таки происходило энергичное сокращеніе мускуловъ.

Это наблюденіе, равно какъ и цѣлый рядъ другихъ, не менѣе замѣчательныхъ явленій, которыя удалось получить Гальвани, мѣняя условія производства опыта, были обнародованы имъ съ подробнымъ описаніемъ всѣхъ сопровождавшихъ ихъ обстоятельствъ, послѣ чего на нихъ было обращено вниманіе всего ученаго міра. Гальвани самъ вполнѣ удовлетворился воззрѣніемъ, что здѣсь сказывается дѣйствіе особой, подобной электричеству, жидкости, обтекающей нервы и мускулы лягушки (впослѣдствіи эта жидкость по его имени была названа гальванической) и объяснялъ это явленіе слѣдующимъ образомъ: нервы и мускулы онъ уподоблялъ обкладкамъ заряженной лейденской банки, а судорожныя вздрагиванія, по его мнѣнію, были слѣдствіемъ разряда, т.-е. теченія жидкости черезъ металлическій проводникъ. Большинство ученыхъ раздѣляло сначала взглядъ Гальвани на этотъ предметъ, но вскорѣ онъ былъ опровергнутъ новыми драгоцѣнными научными изысканіями Алессандро Вольты, предложившаго теорію, ставшую впослѣдствіи основаніемъ всего ученія о гальванизмѣ.


627. Опытъ съ лягушкой.

Вольта родился въ Комо 19 февраля 1745 г. Въ концѣ семидесятыхъ годовъ позапрошлаго столѣтія онъ былъ профессоромъ физики въ гимназіи родного города, откуда позднѣе перешелъ въ университетъ въ Павіи; здѣсь онъ работалъ до 1804 г. Наполеонъ I наградилъ его графскимъ титуломъ и далъ ему званіе итальянскаго сенатора.

Основной опытъ Вольты. Въ опытахъ Гальвани Вольта признавалъ существеннымъ то, что соприкасающіеся между собою металлическіе проводники должны были состоять изъ различнаго рода металловъ. Основной опытъ въ ученіи о гальванизмѣ весьма удобно можно воспроизвести, спаявъ или скрутивъ между собою, какъ показано на рис. 627, мѣдную и цинковую проволоки C и Z; приведя первую въ соединеніе съ открытымъ нервомъ, проходящимъ по спинному хребту въ точкѣ a, второй цинковой проволокой слѣдуетъ коснуться ножного мускула лягушки въ точкѣ b. Каждый разъ при соприкосновеніи и въ моментъ отнятія проволоки, мускулъ сокращается. Вольта, кромѣ того, показалъ, что, даже исключивъ препаратъ лягушки, можно обнаружить электризацію при простомъ соприкосновеніи двухъ разнородныхъ проводниковъ.

Являющееся при этомъ электрическое состояніе, кромѣ способа его возбужденія, ничѣмъ не отличается отъ того состоянія электризаціи, какое обусловлено треніемъ проводниковъ другъ о друга. Его называютъ электризаціей при соприкосновеніи или контактѣ проводниковъ, а отдѣлъ электричества, посвященный разсмотрѣнію подобнаго рода явленій, назвали гальванизмомъ, въ честь перваго ихъ изслѣдователя, несмотря на то, что основныя положенія въ этомъ ученіи были добыты Вольтой. Справедливость Вольтовой теоріи контакта долгое время казалась непоколебимой. Но въ послѣднее время, вслѣдствіе развитія ученія о химическомъ дѣйствіи тока, въ наукѣ явилось стремленіе и эту теорію замѣнить новой, объясняющей все явленіе дѣйствіемъ химическихъ процессовъ. Далѣе приводимъ описаніе основного опыта Вольты.

Если приведемъ въ соприкосновеніе двѣ разнородныя, не наэлектризованныя металлическія пластинки (одна изъ нихъ, допустимъ, будетъ мѣдная.

другая цинковая) съ изолирующими ручками, то слѣдствіемъ явится распаденіе нейтрализующихъ другъ друга электричествъ на обоихъ пластинкахъ. Положительное электричество потечетъ на одну пластинку, отрицательное на другую и по удаленіи ихъ другъ отъ друга, цинкъ окажется наэлектризованнымъ положительно, а мѣдь отрицательно.

Причину, обусловливающую уничтоженіе нейтральнаго состоянія и являющуюся препятствіемъ къ соединенію противоположныхъ электричествъ, называютъ электродвижущей силой; величину ея считаютъ зависящей только отъ природы соприкасающихся тѣлъ. Дѣйствіе этой силы сказывается въ томъ, что электрическій потенціалъ на цинковой пластинкѣ принимаетъ нѣкоторое постоянное положительное значеніе, а на мѣди также постоянное отрицательное значеніе, причемъ и абсолютная величина потенціала неодинакова для того и другого тѣла. Однако, разность потенціаловъ обѣихъ пластинокъ остается всегда постоянной и зависитъ только отъ природы соприкасающихся веществъ, а не зависитъ отъ размѣра пластинокъ или же абсолютнаго значенія потенціала на одной изъ нихъ.



673. А. Вольта.

Если обѣ или одну изъ соприкасающихся пластинокъ соединимъ съ какимъ-нибудь источникомъ электричества, или же одну изъ нихъ приведемъ въ сообщеніе съ землей, разность потенціаловъ обѣихъ пластинокъ будетъ имѣть всегда одно и то же постоянное значеніе.

Все это справедливо для какой угодно комбинаціи двухъ различныхъ металловъ, и, какъ далѣе Вольтѣ удалось установить путемъ экспериментальныхъ изслѣдованій, всѣ они (металлы) могутъ быть расположены въ одинъ рядъ такимъ образомъ, что каждый изъ металловъ въ этомъ ряду при соприкосновеніи съ какимъ-либо изъ предыдущихъ будетъ электризоваться отрицательно, а съ однимъ изъ послѣдующихъ положительно и разность потенціаловъ между ними будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше они отстоятъ другъ отъ друга. Такой рядъ называютъ рядомъ Вольты, а составляющіе его проводники — проводниками перваго класса. Металлы расположены въ этомъ ряду въ слѣдующемъ порядкѣ: цинкъ, кадмій, свинецъ, желѣзо, висмутъ, сюрьма, мѣдь, серебро, золото, платина. Цинкъ, слѣдовательно, при соприкосновеніи со всѣми металлами электризуется положительно, а платина всегда отрицательно.

Полагая разность потенціаловъ между цинкомъ и мѣдью равной 100 и

обозначая это символически Zn | Cu = 100, для другихъ металловъ, пользуясь изслѣдованіями **Ганкеля**, можемъ установить слѣдующія соотношенія:

Cu | Ag = 18	Zn | Cu = 100
Zn | Cd = 24	Zn | Au = 110
Zn | Pb = 44	Zn | Pd = 115
Zn | Sb = 69	Zn | Ag = 118
Zn | Bi = 92	Zn | C = 122
Zn | Fe = 84	Zn | Pt = 123

Законъ Вольты. Гальваническій элементъ. Приведенныя данныя позволяютъ установить слѣдующій законъ, впервые доказанный Вольтою и названный его именемъ.

При послѣдовательномъ соединенін нѣсколькихъ проводниковъ, возьмемъ для примѣра цинкъ, мѣдь и серебро (рис. 629), — сумма разностей потенціаловъ

$$\underbrace{Zn \mid Cu}_{100} + \underbrace{Cu \mid Ag}_{18} = 118$$



630.

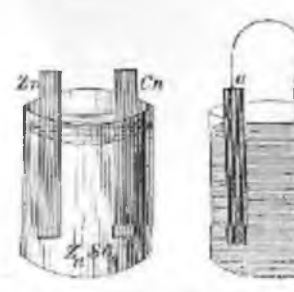


629.

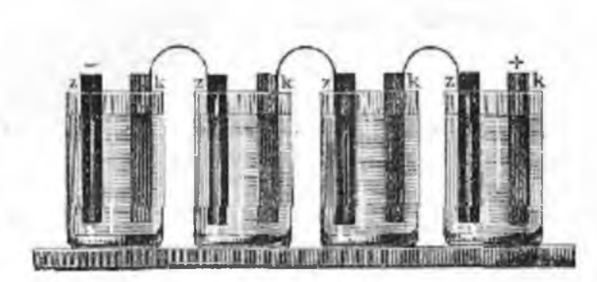
равна разности потенціаловъ между цинкомъ и серебромъ.

$$Zn \mid Ag = 118$$

И вообще: на двухъ какихъ-либо проводникахъ Вольтова ряда устанавливается одна и та же разность потенціаловъ, будутъ ли эти проводники находиться въ непосредственномъ соприкосновеніи, или они будутъ соединены другъ съ другомъ черезъ посредство другихъ проводниковъ перваго класса, если только температура остается при этомъ неизмѣнной. Сколько бы ни включали промежуточныхъ проводниковъ, разность потенціаловъ на крайнихъ будетъ оставаться постоянной, какъ будто бы они непосредственно касались другъ друга.



631 и 632.
Схема гальваническаго элемента.



633. Гальваническая баттарея.

Отсюда можно вывести еще такое слѣдствіе: въ замкнутомъ кругѣ, составленномъ изъ различныхъ проводниковъ перваго класса, при одинаковой ихъ температурѣ, сумма разностей потенціаловъ всегда равна нулю.

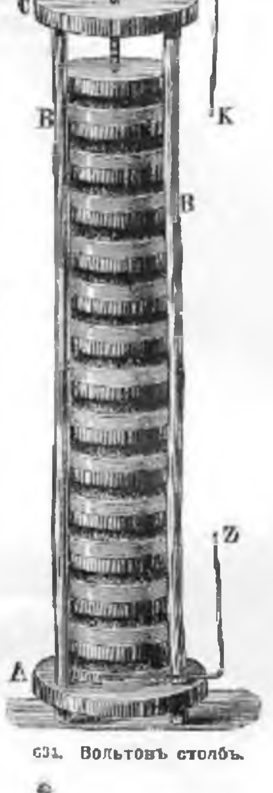
Дѣйствительно, составивъ замкнутое соединеніе: цинкъ—мѣдь—серебро—желѣзо—золото—цинкъ (рис. 630), для суммы отдѣльныхъ разностей получимъ:

$$\underbrace{\text{Цинкъ} \mid \text{Мѣдь}}_{+100} + \underbrace{\text{Мѣдь} \mid \text{Серебро}}_{+10} + \underbrace{\text{Серебро} \mid \text{Желѣзо}}_{-34} + \underbrace{\text{Желѣзо} \mid \text{Зол.}}_{-26} + \underbrace{\text{Зол.} \mid \text{Цинкъ}}_{-110} = 0$$

Въ такомъ соединеніи, слѣдовательно, нельзя допустить существованія электродвижущей силы, которая обусловливала бы перемѣщеніе электричества.

Не всѣ тѣла, проводящія электричество, обладаютъ свойствами проводниковъ перваго класса; существуютъ такіе проводники, какъ напримѣръ

растворы солей, разведенныя кислоты и вообще жидкости, которые не подчиняются закону Вольты; они представляютъ собой группу такъ называемыхъ **проводниковъ второго класса**. Если въ замкнутый рядъ включены также и эти послѣдніе, то обнаруживаются новыя явленія. Относительно проводимости растворовъ (ихъ-то мы исключительно и будемъ имѣть въ виду) теорія диссоціаціи полагаетъ, что веществомъ, проводящимъ электричество, является растворенное тѣло (цинковый купоросъ, сѣрная кислота, азотная кислота и т. д.), а самый процессъ совершается благодаря распаденію большей и меньшей части его, въ зависимости отъ концентраціи, на такъ называемые іоны, которые, будучи заряжены противоположнымъ электричествомъ, устремляются въ различныя стороны.



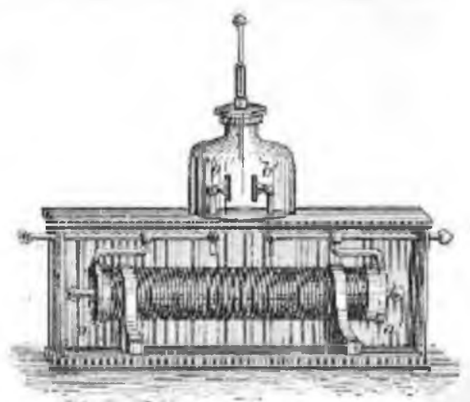
631. Вольтовъ столбъ.

Если металлъ будетъ погруженъ въ жидкость, то, какъ можно обнаружить приспособленнымъ для этой цѣли электроскопомъ, на обоихъ соприкасающихся тѣлахъ возникаетъ нѣкоторая разность потенціаловъ. Такъ напримѣръ, цинкъ, погруженный въ подкисленную воду, электризуется отрицательно, а вода электризуется положительно. Слѣдовательно, казалось бы, въ Вольтовомъ ряду можно отвести мѣсто водѣ передъ цинкомъ; съ послѣдующими металлами, напримѣръ, съ мѣдью, отстоящей значительно далѣе цинка, она должна была бы въ такомъ случаѣ электризоваться еще сильнѣе и положительно. Опытъ обнаруживаетъ иное; мѣдь, погруженная въ воду, такъ же, какъ цинкъ, электризуется отрицательно, но слабѣе цинка. Надо замѣтить, что всѣ металлы въ соприкосновеніи съ водой электризуются отрицательно и въ различной степени; вода всегда оказывается наэлектризованной положительно. Итакъ, водѣ нѣтъ мѣста въ рядѣ Вольты.

Одинаковымъ образомъ и разность потенціаловъ на цинкѣ и мѣди устанавливается иная при комбинаціи: мѣдь — жидкость — цинкъ, нежели (рис. 631) при комбинаціи: мѣдь — металлъ — цинкъ.

Напримѣръ, разность потенціаловъ, между мѣдью и цинковымъ купоросомъ, выраженная въ вольтахъ (опредѣленіе этой единицы будетъ дано позднѣе), оказывается равной —0,113, а между цинковымъ купоросомъ и цинкомъ — 0,358, что въ суммѣ дастъ:

$$Cu \mid ZnSO_4 + ZnSO_4 \mid Zn = +0{,}245,$$


635. Электроскопъ Фехнера съ сухимъ столбомъ.

т.-е. мѣдь въ данномъ случаѣ относительно цинка оказывается наэлектризованной положительно, тогда какъ при непосредственномъ соприкосновеніи цинка съ мѣдью или при включеніи на мѣсто цинковаго купороса металлическаго проводника мы получили бы $Cu \mid Zn = -0{,}75$.

Если соединимъ кромѣ того мѣдь съ цинкомъ помощью мѣдной проволоки, т.-е. образуемъ замкнутую цѣпь мѣдь, цинк. купоросъ, цинкъ, мѣдь, то, составляя для этого случая сумму отдѣльныхъ разностей, найдемъ:

$$Cu \mid ZnSO_4 + ZnSO_4 \mid Zn + Zn \mid Cu =$$
$$= -0{,}113 + 0{,}358 + 0{,}75 = +0{,}995$$

приблизительно одинъ вольтъ. Безъ включенія жидкости, какъ было пояснено, разность потенціаловъ въ замкнутой цѣпи повсюду равна нулю.

Комбинація проводниковъ, подобная представленной на рис. 631, носитъ названіе гальваническаго элемента.

Металлическія пластинки называютъ полюсами элемента. При этомъ различаютъ положительный (мѣдь) и отрицательный (цинкъ) полюсы.

Соединяя нѣсколько элементовъ послѣдовательно, рис. 633 (такъ что отрицательный полюсъ одного оказывается сообщеннымъ съ положительнымъ полюсомъ другого), на свободныхъ полюсахъ получаемъ нѣкоторую разность потенціаловъ, равную суммѣ разностей потенціаловъ отдѣльныхъ элементовъ.

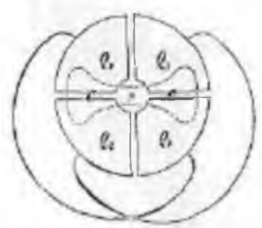
Въ 1800 году Вольта построилъ приборъ, названный по его имени Вольтовымъ столбомъ; онъ состоитъ изъ цѣлаго ряда наложенныхъ другъ на друга попеременно мѣдныхъ и цинковыхъ пластинокъ, съ прокладкой изъ лоскутковъ матеріи, смоченной растворомъ соли или подкисленной водой.

Замбони построилъ приборъ подобной же конструкціи, замѣнивъ мѣдь и цинкъ листочками золотой и серебряной бумаги, которые онъ складывалъ, попеременно обращая другъ къ другу металлическими поверхностями; бумажная прослойка, всегда напитанная до нѣкоторой степени влагой, вслѣдствіе своей гигроскопичности играетъ въ данномъ случаѣ роль жидкости. Столбъ Замбони между прочимъ имѣетъ примѣненіе въ электроскопѣ Фехнера (рис. 635); приборъ этотъ благодаря большой чувствительности позволяетъ не только съ удобствомъ воспроизвести основной опытъ Вольты, но въ соединеніи съ микроскопомъ, снабженнымъ окулярнымъ микрометромъ даетъ возможность опредѣлять количественно разность потенціаловъ при соприкосновеніи. Столбъ Замбони заключенъ въ стеклянную оправу, крышки *aa*, которой находятся въ металлическомъ соединеніи съ крайними пластинками столба. Отсюда отходятъ двѣ толстыя мѣдныя проволоки къ дискамъ электроскопа, между которыми виситъ на изолированной металлической палочкѣ тонкій золотой листокъ.

636. Квадрантный электрометръ Томсона.

Для точнаго измѣренія особенно малыхъ разностей потенціаловъ въ настоящее время пользуются повсюду квадрантнымъ электрометромъ Томсона, представленнымъ на рис. 636. Въ металлической коробкѣ, раздѣленной двумя взаимно перпендикулярными разрѣзами на четыре квадранта

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, изолированныхъ другъ отъ друга и укрѣпленныхъ съ помощью стеклянныхъ ножекъ *e*, вращается бисквитообразная алюминіевая стрѣлка *C*, привѣшенная на изолирующей нити. На рис. 637 представленъ видъ стрѣлки съ квадрантами, если смотрѣть сверху. На рис. 636 одинъ квадрантъ выпущенъ, чтобы можно было видѣть положеніе бисквита (стрѣлки). Квадранты, попарно на-крестъ, находятся въ металлическомъ сообщеніи другъ съ другомъ (Q_1 съ Q_4 и Q_2 съ Q_3). Хорошо изолированныя проволоки сообщаютъ въ свою очередь обѣ пары квадрантовъ соотвѣтственно съ зажимными винтами *f* и *g*, къ нимъ присоединяются провода отъ тѣхъ проводниковъ, разность потенціаловъ на которыхъ хотятъ опредѣлить. Соединенная съ бисквитомъ платиновая проволока p_1 опущена въ стаканъ *G*, съ концентрированной сѣрной кислотой, другая проволока p_2 (тоже платиновая) соединена съ однимъ полюсомъ Замбоніева столба (допустимъ положительнымъ); противоположный полюсъ отведенъ въ землю. Благодаря такому соединенію, бисквитъ электрометра можно зарядить до весьма высокаго потенціала. Если изслѣдуемые проводники будутъ соединены, какъ сказано, съ зажимами *f* и *g*, а слѣдовательно также съ парами квадрантовъ (Q_1, Q_4) и (Q_2, Q_3), то подъ вліяніемъ электрическихъ силъ взаимодѣйствія бисквитообразная стрѣлка должна отклониться, какъ это слѣдуетъ изъ закона Кулона; уголъ отклоненія, опредѣляемый съ помощью зеркальнаго отсчета, долженъ быть приблизительно пропорціоналенъ опредѣляемой разности потенціаловъ.



637. Бисквитъ квадрантнаго электрометра.

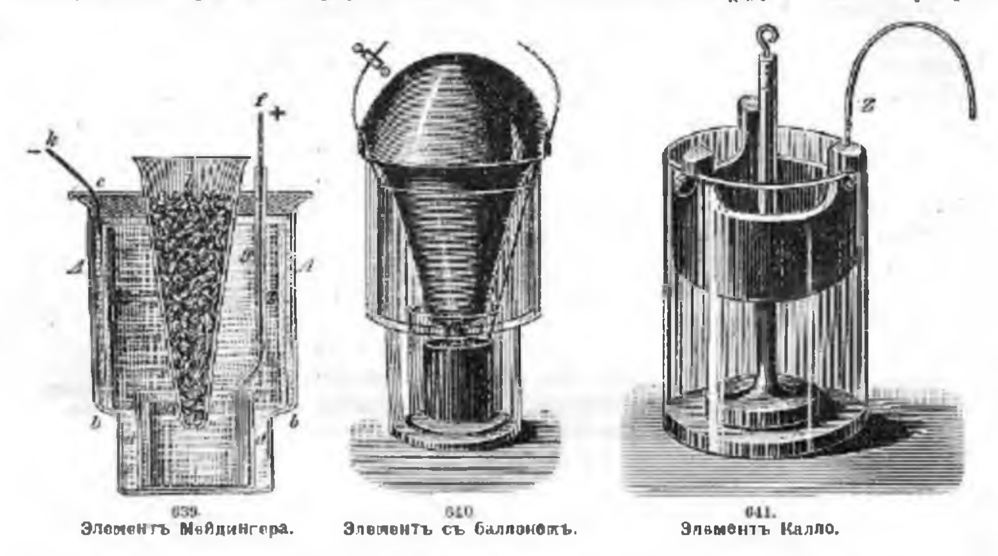
Вольтовъ столбъ и различные типы старинныхъ элементовъ Волластона, Сми и т. п., съ одной жидкостью, обладаютъ тѣмъ недостаткомъ, что при включеніи въ цѣпь даже сравнительно на короткое время сила ихъ быстро падаетъ, а вскорѣ вслѣдъ за тѣмъ они и вовсе перестаютъ дѣйствовать. Причиной этого являются химическія дѣйствія, вслѣдствіе чего въ цѣпи возникаетъ электродвижущая сила, направленная обратно начальной электродвижущей силѣ; постепенно увеличиваясь, она наконецъ низводитъ первоначальное дѣйствіе до минимума. Эту электродвижущую силу называютъ электродвижущей силой гальванической поляризаціи. Когда элементъ, составленный, положимъ, изъ цинка, мѣди и слабаго раствора сѣрной кислоты, окончательно прекратитъ свое дѣйствіе, и мы полюбопытствуемъ доискаться причины этого факта, разобравъ его на составныя части, то замѣтимъ, что кислота цѣликомъ превратилась въ цинковый купоросъ, а мѣдь покрыта пузырьками газа (водорода). Теперь уже электродами (вещества, соприкасающіяся съ жидкостью) становятся водородъ и цинкъ, а не мѣдь и цинкъ, или, какъ говорятъ, одинъ изъ электродовъ (мѣдь) поляризуется, и результатомъ поляризаціи является электродвижущая сила, обусловливаемая разностью потенціаловъ между водородомъ и мѣдью, противоположная электродвижущей силѣ мѣдь — цинкъ. Такимъ образомъ объясняется паденіе электродвижущей силы элемента.



638. Элементъ Даніеля.

Чтобы устранить или уменьшить, насколько возможно, вліяніе поляризаціи электродовъ, тотъ полюсъ, гдѣ выдѣляется водородъ, стараются окружить какимъ-нибудь окисляющимъ веществомъ. При употребленіи такъ называемыхъ постоянныхъ элементовъ это достигается тѣмъ, что тотъ и другой электродъ погружаются въ различныя жидкости, разграниченныя между собой

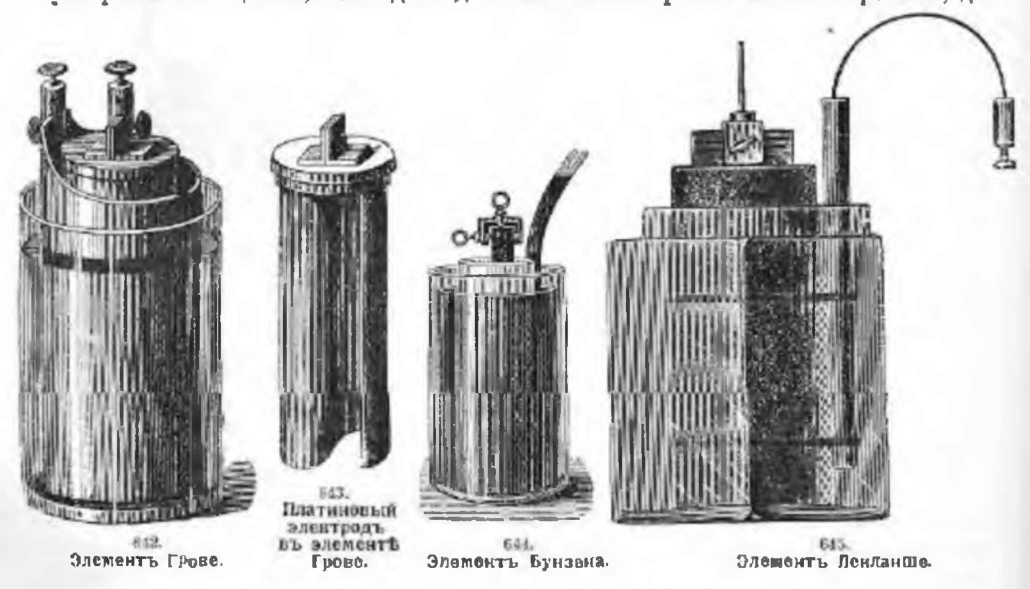
пористой перегородкой (животной перепонкой или пористой глиной). Однако надолго невозможно разобщить одну жидкость отъ другой, такъ что мало-помалу онѣ непремѣнно будутъ смѣшиваться вслѣдствіе диффузіи. Поэтому при



639. Элементъ Мейдингера. 640. Элементъ съ баллономъ. 641. Элементъ Калло.

производствѣ электрическихъ измѣреній слѣдуетъ употреблять свѣжезаряженные (только-что составленные) элементы.

Въ качествѣ электроположительнаго металла почти во всѣхъ элементахъ употребляется цинкъ; послѣдній долженъ быть хорошо амальгамированъ, для


642. Элементъ Грове. 643. Платиновый электродъ въ элементѣ Грове. 644. Элементъ Бунзена. 645. Элементъ Лекланше.

предохраненія отъ окисленія растворомъ сѣрной кислоты, когда элементъ не работаетъ.

Первый постоянный элементъ былъ построенъ Даніэлемъ. Рис. 638 представляетъ новѣйшую его конструкцію. Въ цилиндрическій стеклянный сосудъ, наполненный растворомъ мѣднаго купороса, погруженъ цилиндрически изогнутый тонкій листъ мѣди, открытый съ обоихъ концовъ; внутри

его находится стаканъ изъ пористой глины T съ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты, куда опущена еще цинковая палочка Z. Нерѣдко вмѣсто сѣрной кислоты берутъ растворъ цинковаго купороса. Къ мѣдному и цинковому электродамъ придѣланы мѣдныя ушки для присоединенiя зажимовъ и проводовъ.

Изъ различныхъ элементовъ, представляющихъ видоизмѣненiе элемента Данiэля, наиболѣе употребителенъ элементъ Мейдингера, гдѣ пористая перегородка совершенно устранена (рис. 639). Въ сосудѣ A на заплечикѣ b помѣщается цинковый цилиндръ Z. Сосудъ A книзу суживается и на дно его ставится стаканчикъ d, съ насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса, куда погруженъ мѣдный электродъ. Опущенная туда же воронка h набита кристаллами купороса, чтобы концентрацiя раствора не измѣнялась. Въ верхнюю часть сосуда наливаютъ растворъ цинковаго купороса или горькой соли (сѣрнокислой магнезiи). Благодаря разности удѣльнаго вѣса жидкости не смѣшиваются другъ съ другомъ. Проволока g, идущая къ мѣдному электроду, должна быть тщательно изолирована. Въ элементахъ новѣйшей конструкцiи воронка замѣнена стеклянным баллономъ (рис. 640).

На рис. 641 изображена упрощенная конструкцiя элемента Мейдингера— элементъ Калло, который часто употребляется въ телеграфномъ дѣлѣ. Въ немъ отсутствуетъ резервуаръ съ кристаллами мѣднаго купороса и особый стаканчикъ для мѣднаго электрода; даже этотъ послѣднiй нерѣдко замѣняется свинцовой пластинкой, на которой дѣйствiемъ тока отлагается мѣдь.

Къ постояннымъ элементамъ относится также элементъ Грове, электродвижущая сила котораго почти вдвое превосходитъ силу элемента Данiэля. Его составныя части: цинкъ, погруженный въ слабый растворъ сѣрной кислоты, и платина въ концентрированную азотную кислоту (рис. 642). Цинковый, хорошо амальгамированный, цилиндръ помѣщается въ стеклянный сосудъ съ растворомъ слабой сѣрной кислоты, а внутрь его вставляется пористый стаканчикъ, съ дымящейся азотной кислотой, закрываемый сверху фарфоровой крышечкой; къ этой крышечкѣ прикрѣпленъ изображенный отдѣльно на рис. 643 платиновый электродъ, изогнутый въ формѣ буквы S. Къ цинковому цилиндру и къ выступающей изъ фарфоровой крышки платиновой пластинкѣ прикрѣплены зажимы для соединительныхъ проводовъ.

Въ наиболѣе употребительномъ элементѣ Бунзена дорого стоющая платина замѣнена углемъ. Въ элементахъ новѣйшей конструкцiи (рис. 644) угольный брусокъ, заключенный въ пористый сосудъ, помѣщается внутри цинковаго цилиндра. Въ прежней же конструкцiи расположенiе отдѣльныхъ частей какъ разъ противоположное.

Элементы Бунзена и Грове, обладая большой электродвижущей силой, имѣютъ важное преимущество передъ элементами Данiэля, но употребленiе дымящейся азотной кислоты сопровождается столь дурными послѣдствiями, что пользованiе ими въ жилыхъ помѣщенiяхъ, въ особенности, гдѣ находятся металлическiе предметы, не представляется удобнымъ. Окислы азота очень нехорошо дѣйствуютъ на дыхательные органы, а кромѣ того портятъ также всѣ металлическiе предметы; особенно сильной порчѣ подвергается желѣзо. Поэтому элементы съ азотной кислотой слѣдуетъ или помѣщать на воздухѣ, или подъ сильной тягой.

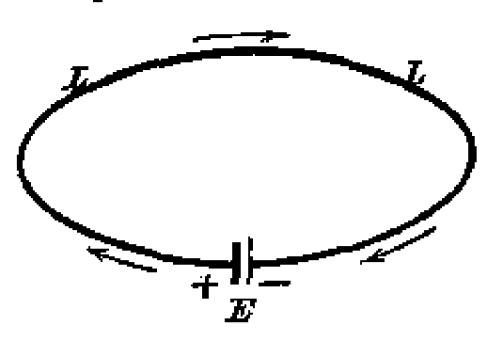
Бунзенъ же придумалъ другую конструкцiю элемента, устранивъ азотную кислоту, и замѣнивъ ее хромовой кислотой или особой хромовой жидкостью, представляющей растворъ двухромовокислаго кали въ сѣрной кислотѣ. Такой элементъ (цинкъ, сѣрная кислота, хромовая жидкость и уголь) довольно распространенъ, но онъ не даетъ постоянной электродвижущей силы. Во избѣжанiе напрасной порчи цинка, когда элементъ не употребляется, этому электроду придаютъ такую форму, чтобы его легко можно было вынуть изъ жидкости.

Изъ другихъ **непостоянныхъ** элементовъ заслуживаетъ вниманія элементъ **Лекланше**, употребляемый въ домашнихъ батареяхъ для электрическихъ звонковъ и т. п. Твердыя вещества этого элемента: цинкъ и уголь въ соединеніи съ перекисью марганца, жидкость одна — растворъ нашатыря въ водѣ. Угольная пластинка, плотно спрессованная съ перекисью марганца, составляетъ одинъ изъ электродовъ, другой электродъ, цинковая палочка присоединяется къ первому съ помощью изолирующихъ фарфоровыхъ колецъ. Такимъ образомъ твердыя части во всякое время легко можно вынуть изъ сосуда, куда налита жидкость. Элементъ Лекланше изображенъ на рис. 645.

Такъ какъ всѣ подобные элементы замыкаются лишь на самое короткое время, то они не скоро истощаются.

Такъ называемые **сухіе элементы** устраиваются по типу элемента Лекланше. Жидкость въ нихъ замѣнена какой-нибудь твердой массой, пропитанной растворомъ нашатыря. Продолжительность дѣйствія элемента находится въ зависимости отъ того, какъ долго эта масса можетъ оставаться сырой.

Объясненіе дѣйствія элементовъ будетъ сообщено далѣе при изложеніи законовъ химическаго дѣйствія тока: тамъ же читатель найдетъ описаніе **вторичныхъ элементовъ, или аккумуляторовъ.**



646. Простѣйшая гальваническая цѣпь.

Гальваническій токъ. Законъ Ома. Всякій гальваническій элементъ можетъ вызвать непрерывное теченіе электричества по проводнику. Совершенно подобно тому, какъ, если у насъ имѣются два резервуара съ жидкостью, уровень въ которыхъ устанавливается не на одинаковой высотѣ, то произойдетъ непрерывное теченіе жидкости, когда мы сообщимъ ихъ трубкой и какимъ-нибудь способомъ, напримѣръ, съ помощью насоса, будемъ сохранять разность между уровнями постоянной, такъ же точно и съ помощью элемента, на электродахъ котораго поддерживается нѣкоторая постоянная разность потенціаловъ, зависящая отъ природы входящихъ въ него веществъ, можно осуществить непрерывное теченіе электричества, соединивъ оба электрода проводникомъ или, какъ говорятъ, замкнувъ элементъ. За направленіе тока принимаютъ направленіе отъ мѣстъ высшаго потенціала къ тѣмъ мѣстамъ, гдѣ потенціалъ ниже; это — то направленіе, въ какомъ перемѣщается положительное электричество. Во внѣшней цѣпи, положимъ, по проволокѣ, соединяющей мѣдный и цинковый электроды элемента (рис. 632), токъ направленъ отъ мѣди къ цинку, внутри же элемента отъ цинка черезъ жидкость къ мѣди; отрицательное электричество имѣетъ какъ разъ обратное теченіе. Оба электричества нейтрализовали бы другъ друга, если бы подъ дѣйствіемъ электродвижущей силы они не были бы вновь разъединены и на концахъ проводника не возникла бы снова прежняя разность потенціаловъ. Такимъ образомъ въ цѣпи возникаетъ **постоянный гальваническій токъ**, т.-е. такой токъ, который въ опредѣленномъ мѣстѣ проводника вызываетъ постоянно одно и то же явленіе.

Въ 1827 году, Георгъ Симонъ Омъ, исходя изъ такихъ же положеній, какія Фурье положилъ въ основаніе своей теоріи теплопроводности, выводы которой вполнѣ согласовались съ опытными данными, установилъ законы распространенія электричества въ проводникахъ, обтекаемыхъ постояннымъ токомъ.

Когда въ неразвѣтвленной гальванической цѣпи, состоящей изъ элемента E и замыкающей его (соединяющей электроды) проволоки L рис. 646 возникаетъ постоянный токъ, то черезъ каждое поперечное сѣченіе проводника въ одно и то же время протекаетъ одинаковое количество электричества. Мы можемъ это себѣ легче уяснить по аналогіи съ теченіемъ жидкости по трубкамъ.

Предположимъ, что въ опредѣленное время, напримѣръ въ 1 секунду, въ трубопроводъ втекаетъ всегда одно и то же опредѣленное количество жидкости и такое же ея количество вытекаетъ за этотъ промежутокъ времени, такъ что трубопроводъ остается все время наполненнымъ водой; тогда, очевидно, количество жидкости, протекающей въ одну секунду черезъ любое сѣченіе проводника, будетъ одно и то же, независимо отъ ширины трубки въ данномъ мѣстѣ. Точно также при постоянномъ гальваническомъ токѣ черезъ каждое сѣченіе проводника въ одно и то же время будетъ протекать одинаковое количество электричества. Количество электричества, протекающее въ единицу времени, т.-е. въ секунду, черезъ поперечное сѣченіе проводника, называютъ силою тока. Чѣмъ же обусловливается та или другая сила тока въ проводникѣ? Очевидно, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ въ одну секунду будетъ протекать тѣмъ больше электричества, чѣмъ больше величина силы, вызывающей теченіе электричества по проводнику, т.-е. сила тока тѣмъ больше, чѣмъ больше электродвижущая сила. Далѣе, количество протекающаго электричества будетъ уменьшаться вмѣстѣ съ увеличеніемъ сопротивленія, которое электричество преодолѣваетъ въ своемъ теченіи. Сопротивленіе это слагается изъ двухъ: того, какое встрѣчаетъ токъ въ самомъ элементѣ, и того, какое онъ испытываетъ во внѣшней цѣпи, проходя по проводнику, соединяющему электроды. Чѣмъ больше, слѣдовательно, общее сопротивленіе цѣпи, тѣмъ слабѣе токъ, вызываемый дѣйствіемъ той же электродвижущей силы.

Совокупность обоихъ положеній выражается слѣдующимъ закономъ Ома:

Во всякой замкнутой цѣпи (неразвѣтвленныхъ проводниковъ) сила тока равна частному отъ дѣленія электродвижущей силы на общее сопротивленіе цѣпи.

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Электродв. сила}}{\text{Общее сопротивл. цѣпи}}$$

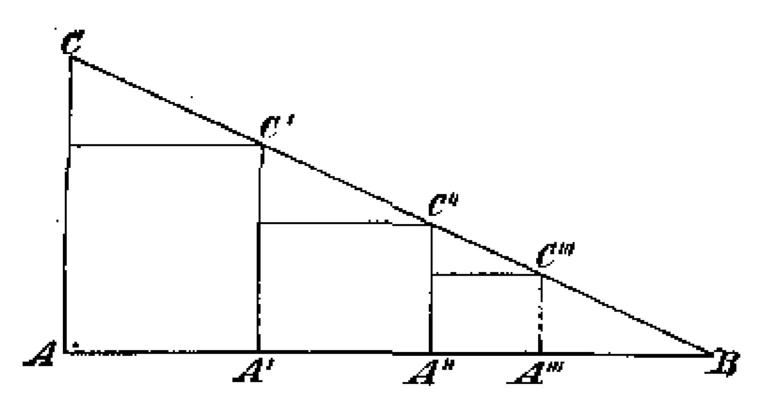
Далѣе обнаруживается, что сопротивленіе увеличивается, во-первыхъ, съ увеличеніемъ длины проводника, что, во-вторыхъ, оно уменьшается съ увеличеніемъ площади поперечнаго сѣченія и, наконецъ, въ третьихъ, находится въ зависимости отъ природы проводящихъ тѣлъ. Сопротивленіе серебряной проволоки менѣе сопротивленія мѣдной, а мѣдная въ свою очередь обладаетъ меньшимъ сопротивленіемъ, нежели платиновая при одинаковой длинѣ и одинаковомъ поперечномъ сѣченіи.

Принимая сопротивленіе нѣкотораго произвольно выбраннаго проводника, длина котораго равна единицѣ, а площадь поперечнаго сѣченія равна квадратной единицѣ, за единицу сопротивленія — Вернеръ Сименсъ предложилъ за такую единицу принять сопротивленіе ртутнаго столба, длиною 1 м., съ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. — можно для каждаго вещества найти нѣкоторое постоянное число, выражающее во сколько разъ при той же длинѣ и томъ же поперечномъ сѣченіи сопротивленіе даннаго проводника больше сопротивленія ртути. Такое число называютъ удѣльнымъ сопротивленіемъ относительно ртути; обратная этой величина носитъ названіе удѣльной проводимости или коэффиціента электропроводности. По нѣкоторымъ причинамъ, которыя здѣсь еще не могутъ быть изложены, согласились признать за единицу сопротивленія сопротивленіе ртутнаго столба, длина котораго не 1, а 1,063 м., поперечное же сѣченіе 1 кв мм., и назвать эту единицу сопротивленія омъ. Это какъ разъ сопротивленіе цѣпи, въ которой токъ силою въ 1 амперъ возбуждается электродвижущей силою въ 1 вольтъ.

$$1 \text{ амперъ} = \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ омъ}}$$

Для большей наглядности интересно показать, какимъ образомъ законъ Ома можетъ быть представленъ графически. Предположимъ, что соединительная проволока LL, которой замыкается элементъ, какъ это указано на рис. 646, выправлена въ прямую AB (рис. 647), и разность потенціаловъ между точками A и B изображается прямой AC, тогда разности потенціаловъ между точками A' и B, A'' и B, A''' и B изобразятся ординатами $A'C'$, $A''C''$, $A'''C'''$, вершины которыхъ должны находиться на прямой CB. Если бы AB' представляла собой часть водопроводной трубы, а ординатами $A'C'$, $A''C''$ и $A'''C'''$ было бы изображено давленіе воды въ точкахъ A', A'' и A''', то конечныя точки этихъ ординатъ также бы всѣ были расположены на прямой CB. Это можетъ быть показано экспериментально, какъ для случая теченія воды подъ давленіемъ, такъ и для теченія электричества. Законъ для всей замкнутой цѣпи примѣнимъ и къ каждой отдѣльной ея части: повсюду сила тока въ проводникѣ равна разности потенціаловъ между двумя избранными точками, дѣленной на сопротивленіе соотвѣтствующей части цѣпи.

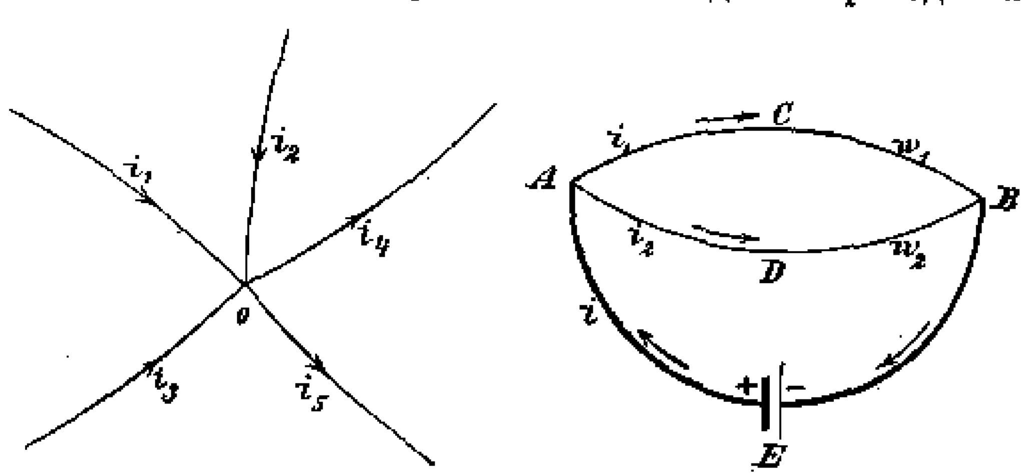
Соединеніе элементовъ въ батареи. Общее сопротивленіе цѣпи слагается изъ двухъ частей: изъ внутренняго сопротивленія, представляемаго самимъ элементомъ, и внѣшняго сопротивленія проводниковъ. Часто является вопросъ, какое расположеніе придать отдѣльнымъ частямъ батареи, чтобы при данномъ внѣшнемъ сопротивленіи возможно выгоднѣе воспользоваться доставляемымъ ею токомъ? Если, положимъ, у насъ имѣются 6 элементовъ Даніэля и мы соединимъ ихъ послѣдовательно, т.-е. такимъ образомъ, что цинкъ предыдущаго элемента будетъ всегда соединенъ съ мѣдью послѣдующаго, то *хотя электродвижущая сила батареи увеличится* въ 6 разъ, *но за то и* сопротивленіе ея увеличится въ той же мѣрѣ, такъ что при короткомъ замыканіи (т.-е. при соединеніи конечныхъ электродовъ проводникомъ незначительнаго сопротивленія) сила тока останется безъ измѣненія. Параллельное соединеніе, т.-е. такое, гдѣ всѣ цинковыя, равно какъ и всѣ мѣдныя пластинки соединены соотвѣтственно между собою, аналогично образованію новаго элемента, съ поверхностью электродовъ въ шесть разъ больше прежней. Электродвижущая сила, зависящая исключительно отъ природы веществъ, образующихъ элементъ, останется при этомъ безъ измѣненія, общее же сопротивленіе всей батареи, въ виду того, что теперь токъ проходитъ по проводнику въ шесть разъ шире, уменьшится въ такое же число разъ. При короткомъ замыканіи сила тока увеличится въ шесть разъ. Итакъ, если внѣшнее сопротивленіе, представляемое соединительной проволокой, ничтожно мало по сравненію съ сопротивленіемъ элемента, то послѣдовательное соединеніе элементовъ не влечетъ за собой выгоды, при *параллельномъ же соединеніи сила тока будетъ почти въ шесть разъ больше*, такъ что, напримѣръ, для раскаливанія короткой проволоки выгоднѣе пользоваться параллельнымъ соединеніемъ. Наоборотъ, когда сопротивленіе внѣшней цѣпи (соединительной проволоки) настолько велико по сравненію съ сопротивленіемъ самой батареи, что послѣднимъ можно пренебречь — такой случай мы имѣемъ, напримѣръ, когда передается токъ на большое разстояніе по телеграфному проводу — тогда параллельное соединеніе элементовъ не даетъ намъ никакой выгоды, при послѣдовательномъ же соединеніи сила тока увеличится почти въ 6 разъ. Можно высказать въ видѣ общаго положенія, что при маломъ внѣшнемъ сопротивленіи слѣдуетъ пред-



647. Графическое представленіе закона Ома.

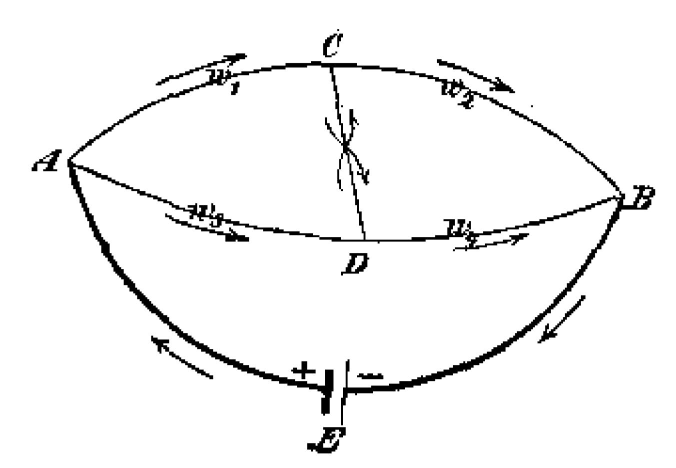
почтительно *пользоваться параллельнымъ соединеніемъ*, а при большомъ внѣшнемъ сопротивленіи — послѣдовательнымъ. Бываютъ же случаи, когда является вполнѣ цѣлесообразнымъ соединить элементы частью параллельно, частью последовательно; какъ оказывается, для полученія максимальной силы тока *нужно* подбирать сопротивленіе батареи такимъ образомъ, чтобы оно по возможности, въ извѣстныхъ предѣлахъ, было равно сопротивленію внѣшней цѣпи.

Развѣтвленіе тока. До сихъ поръ мы ограничивались лишь разсмотрѣніемъ того случая, когда току представляется только одинъ путь, и для этого случая выведенъ былъ законъ Ома. При этомъ по всей длинѣ проводника сила тока была одна и та же. Когда путь тока развѣтвляется, высказанное положеніе уже перестаетъ быть справедливымъ: въ различныхъ вѣтвяхъ сила тока не *одна и та же*. Для какой угодно системы развѣтвленныхъ проводниковъ связь между силою тока и сопротивленіемъ отдѣльныхъ частей выражается двумя законами Г. Кирхгофа, являющимися прямымъ слѣдствіемъ закона Ома.



648 и 649. Развѣтвленіе тока.

Первый законъ гласитъ: алгебраическая сумма силъ токовъ, сходящихся въ одной точкѣ, равна нулю, если токамъ, идущимъ къ мѣсту схода, приписывать одинъ знакъ, а удаляющимся отъ этого мѣста обратный. Если, положимъ, *въ точкѣ O рисунка сходятся нѣсколько токовъ*, то количество электричества, приносимаго токами i_1, i_2, i_3, должно быть равно количеству электричества, отводимаго для поддержанія токовъ i_4 и i_5, иначе въ точкѣ O должно бы было происходить скученіе или разсѣяніе электричества. Считая приближающіеся токи положительными, а удаляющіеся отрицательными, можемъ написать равенство: $i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$.



650. Мостикъ Витстона.

Второй законъ *высказывается такъ*: во всякомъ замкнутомъ контурѣ проводниковъ сумма произведеній изъ сопротивленій отдѣльныхъ частей цѣпи на соотвѣтствующія силы токовъ равняется суммѣ всѣхъ электродвижущихъ силъ, дѣйствующихъ въ данномъ контурѣ, если токи, идущіе въ одномъ направленіи, брать съ плюсомъ, а въ обратномъ съ минусомъ.

Рис. 649 представляетъ цѣпь проводниковъ, развѣтвляющихся въ точкахъ *A* и *B*; токъ, идущій отъ положительнаго полюса элемента (т.-е. отъ того электрода, съ котораго начинается теченіе положительнаго электричества во внѣшней цѣпи), въ точкѣ *A* *распадается на два и течетъ* въ направленіи, указываемомъ стрѣлками, въ одной вѣтви мимо точки *C*, въ другой мимо точки *D* къ точкѣ *B*, и оттуда возвращается къ отрицательному полюсу элемента. Въ вѣтви *ACB* *сила тока* $i_1 = \frac{\text{разность потенціаловъ между } A \text{ и } B}{\text{сопротивленіе } w_1 \text{ этой вѣтви}}$.

„ „ *ADB* „ „ $i_2 = \frac{\text{разность потенціаловъ между } A \text{ и } B}{\text{сопротивленіе } w_2 \text{ этой вѣтви}}$.

Силы токовъ въ обѣихъ вѣтвяхъ находятся въ обратномъ отношеніи съ ихъ сопротивленіями. Если бы сопротивленіе w_1 было вдвое больше w_2, сила тока i_1 равнялась бы половинѣ i_2. Въ неразвѣтвленной части AEB сила тока i равна суммѣ силъ токовъ $i_1 + i_2$ въ отдѣльныхъ вѣтвяхъ. Благодаря отвѣтвленію ADB току предоставленъ болѣе широкій путь, вмѣстѣ съ тѣмъ сопротивленіе, представляемое развѣтвленнымъ проводникомъ, будетъ меньше сопротивленія каждой отдѣльно взятой вѣтви. Совершенно аналогично тому, какъ при составленіи батареи, и здѣсь можно говорить о параллельномъ и послѣдовательномъ включеніи сопротивленій. Включая проводники параллельно, мы уменьшаемъ сопротивленіе, а вводя ихъ послѣдовательно одинъ за другимъ, увеличиваемъ.

Схема болѣе сложнаго соединенія, весьма важнаго въ практикѣ, изображена на рис. 650. Та и другая вѣтвь сообщены между собою въ среднихъ частяхъ проводникомъ, или, какъ говорятъ, мостикомъ CD. Изслѣдуя направленіе положительныхъ токовъ отдѣльныхъ частей, убѣждаемся, что въ мостикѣ будутъ существовать заразъ два тока, направленныхъ противоположно. Развѣтвившійся въ точкѣ A токъ направится съ одной стороны черезъ C къ D, съ другой стороны черезъ D къ C и далѣе черезъ B къ отрицательному полюсу элемента. Оба противоположные тока будутъ ослаблять вліяніе другъ друга, и можетъ случиться такъ, что дѣйствія ихъ уравновѣсятся, т.-е. въ мостикѣ вовсе не будетъ обнаруживаться теченія электричества, тогда какъ во всѣхъ другихъ частяхъ токъ несомнѣнно будетъ существовать. Когда это произойдетъ, зависитъ всецѣло отъ соотношенія между сопротивленіями отдѣльныхъ частей, въ чемъ убѣждаемся весьма простымъ разсужденіемъ. Въ мостикѣ не будетъ тока тогда, когда между точками C и D не будетъ существовать разности потенціаловъ, а тогда, значитъ, въ свою очередь разность потенціаловъ между A и C равна разности потенціаловъ между A и D, равно какъ разность потенціаловъ между C и B равна разности между D и B. Кромѣ того, такъ какъ въ мостикѣ тока не существуетъ, то мы можемъ его совсѣмъ вычеркнуть изъ разсмотрѣнія и вслѣдствіе этого принять силу тока въ части AC, равной силѣ тока въ части CB, а силу тока въ части AD, равной силѣ тока въ части DB. Изъ сопоставленія всѣхъ этихъ данныхъ выводимъ такое слѣдствіе: въ мостикѣ не будетъ тока въ томъ случаѣ, если сопротивленія всѣхъ четырехъ вѣтвей удовлетворятъ условію:



651. Выключатель Дюбуа-Реймона.

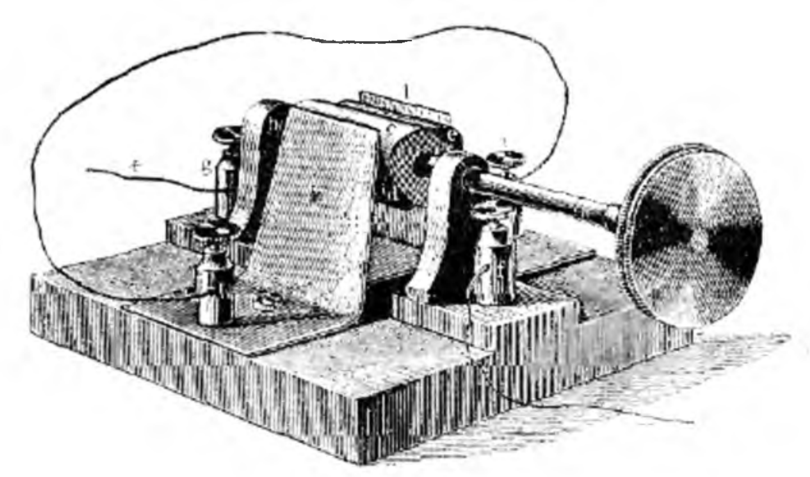
$$w_1 : w_3 = w_2 : w_4, \text{ или (что то же) } w_1 \cdot w_4 = w_2 \cdot w_3.$$

Такое расположеніе проводниковъ даетъ удобное средство сравнивать и измѣрять ихъ сопротивленія. На этомъ принципѣ основывается такъ называемый способъ соединенія проводниковъ по схемѣ Витстона-Кирхгофа или короче: способъ мостика Витстона. Къ описанію этого способа мы вернемся въ послѣдующемъ изложеніи.

Замыканіе тока. Выключатель. Переключатели. Для соединенія элементовъ съ проводами, по которымъ идетъ токъ къ различнымъ аппаратамъ, для замыканія цѣпи или перемѣны направленія тока служатъ различнаго рода контактныя приспособленія, выключатели и переключатели.

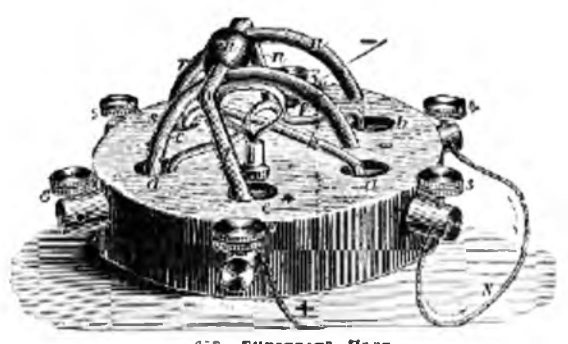
Рис. 651 представляетъ весьма удобный для замыканія и размыканія тока выключатель Дюбуа-Реймона. На стойкѣ a, изъ роговаго каучука, прикрѣпляемой къ столу съ помощью струбцинка, находятся два металличе-

скихъ зажима b и c. Продолженіе зажима c составляетъ ось вращенія рычага e съ изолирующей ручкой. Въ томъ положеніи, какое представлено на рисункѣ, рычагъ этотъ соединяетъ металлически зажимы b и c, къ которымъ подведены концы проводовъ, и такимъ образомъ замыкаетъ токъ. Стоитъ только съ помощью руки поднять рычагъ вверхъ, чтобы части b и c оказались разобщенными другъ отъ друга, вслѣдствіе чего токъ прервется.



652. Коммутаторъ Румкорфа.

Рис. 652 представляетъ переключатель, или коммутаторъ Румкорфа, который дозволяетъ не только замыкать и размыкать токъ, но также измѣнять направленіе тока въ замкнутой цѣпи. На каучуковомъ цилиндрѣ c имѣются два, тщательно изолированныхъ другъ отъ друга, латунныхъ сегмента d и e. Ось цилиндра также состоитъ изъ двухъ металлическихъ частей a и b, имѣющихъ соединеніе съ зажимам и f и g; обѣ части отдѣлены другъ отъ друга какой-нибудь изоляціей. Кромѣ того сегментъ d находится въ металлическомъ соединеніи съ передней частью a оси цилиндра, а слѣдовательно и съ зажимнымъ винтомъ f; сегментъ e соединенъ такимъ же образомъ съ задней частью b оси и съ зажимнымъ винтомъ g. Въ положеніи, представленномъ на рисункѣ, металлическія пру-



653. Гиротропъ Поля.

жинки k и l, находящіяся въ сообщеніи съ зажимами h и i, куда также подведены концы проводовъ, давятъ на сегменты d и e. Токъ оказывается при этомъ замкнутымъ. Теченіе положительнаго электричества происходитъ въ направленіи отъ g къ e и далѣе черезъ пружинку l къ зажимному винту i, по проволокѣ къ зажиму h, оттуда къ пружинкѣ k, къ сегменту d, къ передней части оси a и наконецъ черезъ f къ отрицательному полюсу элемента. Если повернемъ цилиндръ на 180°, такъ что сегментъ d подойдетъ подъ пружину l, направленіе тока въ проволокѣ будетъ обратное: положительное электричество потечетъ отъ g черезъ b къ e, черезъ k къ h и оттуда далѣе къ i (а не отъ i къ h, какъ раньше), черезъ пружинки l, сегментъ d, ось a

и зажимъ *f* къ отрицательному полюсу батареи. Вращая цилиндръ на 90°, мы установимъ сегменты другъ противъ друга въ вертикальномъ направленіи, пружинки *k* и *l* будутъ касаться изолированныхъ частей цилиндра, и цѣпь окажется разомкнутой.

Весьма цѣлесообразный и удобный приборъ представляетъ изъ себя такъ называемый гиротропъ или рычажный коммутаторъ Поля (рис. 653). Въ солидной пластинкѣ рогового каучука сдѣлано шесть чашечкообразныхъ выемокъ *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, заполняемыхъ ртутью. Въ чашечки *e* и *f* погружены концы *l* и *n* двухъ трезубыхъ рогатокъ, скрѣпленныхъ другъ съ другомъ изолирующимъ цилиндромъ *m*. Вся эта система образуетъ родъ качалки, которую можно помѣстить или такимъ образомъ, что концы *t* и *u* окажутся погруженными соотвѣтственно въ ртутныя чашечки *a* и *b*, или такъ, что концы *s* и *r* будутъ погружены въ чашечки *d* и *c*, или наконецъ, установивъ коромысло вертикально, прервать контактъ между свободными концами качалки и ртутью. Каждая ртутная чашечка находится въ металлическомъ сообщеніи съ однимъ изъ зажимовъ 1, 2, 3, 4, 5, 6. Полюсы источника тока сообщаются съ зажимными винтами 1 и 2, а слѣдовательно съ оконечностями коромысла. Концы цѣпи, въ которой желаютъ произвести измѣненіе направленія тока, подводятъ или къ зажимамъ 3 и 4, или къ зажимамъ 5 и 6. Ртутныя чашечки *a* и *c*, а также *b* и *d* соединены попарно на-крестъ между собою мѣдными проволоками *h* и *i*, которыя не должны касаться одна другой. Въ томъ положеніи, какъ на рисункѣ, т.-е. когда коромысло наклонено влѣво, теченіе положительнаго электричества совершается въ направленіи отъ *e* черезъ *l* и *s* къ *d*, оттуда черезъ мѣдную проволочку *i* къ *b*, по внѣшнему проводнику къ *a*, черезъ проволоку *h* къ *e* и затѣмъ черезъ концы *r* и *n* къ зажиму *f*, соединенному съ отрицательнымъ полюсомъ батареи.

Когда коромысло наклонено вправо, токъ идетъ отъ *e* черезъ *l* къ *a*; оттуда черезъ внѣшній проводникъ (теперь въ обратномъ направленіи) къ точкѣ *b* и далѣе черезъ концы *u* и *n* къ зажиму *f* и къ отрицательному полюсу батареи. На рисункѣ еще обозначена пружинка, служащая для установки коромысла въ такомъ положеніи, чтобы кончики качалки не касались поверхности ртути въ чашечкахъ *a*, *b*, *c*, *d*: тогда цѣпь будетъ разомкнута.

Дѣйствія гальваническаго тока.

Магнитныя дѣйствія.

Открытіе Эрштеда. Отклоненіе магнитной стрѣлки. Правило Ампера. Мультипликаторъ Швейггера. Тангенсъ-буссоль. Гальванометръ. Астатическая система стрѣлокъ. Гальванометры Нобили, Видемана, Вернера Сименса и Вильяма Томсона. Крутильный гальванометръ. Гальванометръ д'Арсонваля. Новѣйшая его конструкція (модель Сименса). Электромагнитизмъ. Открытіе Араго. Соленоидъ Ампера. Теорія магнитизма Ампера. Сильные электромагниты. Парамагнитность и діамагнитность тѣлъ. Открытіе Фарадеемъ „магнитныхъ свойствъ пучка свѣтовыхъ лучей“. Электромагнитъ Румкорфа. Дѣйствіе соленоида на мягкое желѣзо. Автоматическій прерыватель. Пишущій аппаратъ Морзе. Электромагнитная машина Ричи.

Свойства и дѣйствія гальваническаго тока проявляются самымъ различнымъ образомъ. Вліяніе ихъ можетъ быть обнаружено не только въ проводникѣ, по которому проходитъ токъ, но и во внѣшнемъ пространствѣ. Хотя правильнѣе было бы разсмотрѣть сначала дѣйствія, производимыя токомъ въ самой цѣпи, но мы предпочтемъ прежде обратиться къ внѣшнимъ его дѣйствіямъ, т.-е. магнитнымъ, потому что на нихъ основано устройство главнѣйшихъ измѣрительныхъ приборовъ, и ими же руководятся при постановкѣ методовъ измѣренія. Уже давно замѣчалось стремленіе найти, какое

соотношеніе существуетъ между магнитными и электрическими явленіями, въ особенности послѣ обнаруженія того факта, что молнія, равно какъ и разрядъ Лейденской банки, вызываютъ перемѣну полюсовъ магнитной стрѣлки, или уничтожаютъ ея магнитизмъ, а также возбуждаютъ магнитизмъ въ тѣхъ тѣлахъ, которыя до того не обладали магнитными свойствами.

Зимою 1819/20 года Эрштедтъ на одной изъ читанныхъ имъ тогда лекцій по физикѣ наблюдалъ замѣчательное явленіе, а именно, что платиновая проволока, соединяющая полюсы Вольтова столба, вызываетъ характерныя колебанія находящейся случайно поблизости магнитной стрѣлки. Есть предположеніе, поддерживаемое нѣкоторыми учеными, будто еще за-



651. Христіанъ Эрштедтъ.

долго передъ тѣмъ подобное же явленіе было подмѣчено физикомъ Романьози и позднѣе сообщено Алдини, что однако другими оспаривается. Эрштедтъ самъ, кажется, не оцѣнилъ сразу всей важности сдѣланнаго имъ открытія; по крайней мѣрѣ онъ не торопился обнародовать его письменно среди ученыхъ естествоиспытателей, такъ что прошло значительно времени, пока это открытіе привлекло къ себѣ всеобщее вниманіе и вызвало у всѣхъ самый восторженный энтузіазмъ. Въ научной хроникѣ того времени встрѣчаешь почти исключительно разборъ или изложеніе экспериментальныхъ изслѣдованій, вызванныхъ открытіемъ Эрштедта. Начатыя работы по другимъ отдѣламъ физики были заброшены и не только естествоиспытатели, физики и врачи, но даже дилеттанты въ наукѣ, какъ разсказываетъ Пфаффъ, страстно предались изученію новаго сорта явленій. Имя Эрштедта было тогда у всѣхъ на языкѣ, но никто все же не могъ предчувствовать, какое огромное значеніе пріобрѣтетъ его открытіе въ недалекомъ будущемъ. Раз-

бирая теперь обильныя послѣдствія того, что тогда находилось еще въ зародышѣ, послѣдствія, важнѣйшимъ изъ которыхъ является электромагнитный телеграфъ, прямо-таки не вѣришь, чтобы начало этому было положено менѣе, чѣмъ за сто лѣтъ назадъ.

Основной опытъ Эрштедта легко воспроизвести, протянувъ надъ магнитной стрѣлкой въ направленіи сѣверъ-югъ проволоку, замыкающую полюсы гальваническаго элемента (рис. 655). Пока по проволокѣ не пропущенъ токъ, магнитная стрѣлка находится въ покоѣ, не выходя изъ плоскости магнитнаго меридіана, но, какъ только элементъ будетъ замкнутъ, стрѣлка отклонится отъ первоначальнаго положенія на большій или меньшій уголъ въ зависимости отъ силы тока, стремясь установиться перпендикулярно направленію проволоки. Не все равно, будетъ ли находиться проволока выше или ниже стрѣлки, такъ какъ въ томъ и другомъ случаѣ наблюдаются отклоненія въ противоположныя стороны. Направленіе, въ которомъ отклоняется магнитная стрѣлка подъ дѣйствіемъ тока, зависитъ отъ направленія послѣдняго и для каждаго отдѣльнаго случая можетъ быть опредѣлено по слѣдующему правилу знаменитаго французскаго физика Ампера: вообразите, что вы плывете по направленію тока (т.-е. токъ проходитъ черезъ васъ отъ ногъ къ головѣ); смотрите на сѣверный полюсъ, онъ покажется вамъ отклоненнымъ влѣво. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ больше отклоненіе стрѣлки, такъ что и обратно — по величинѣ отклоненія можно судить о силѣ тока. Отсюда слѣдуетъ, что, если проволоку протянемъ туда надъ стрѣлкой и возвратимъ его къ элементу, проводя обратно подъ стрѣлкой, то направленіе, въ которомъ должна отклоняться стрѣлка подъ вліяніемъ нижняго и верхняго тока, будетъ одно и то же, отклоняющая же сила при этомъ увеличивается вдвое. Далѣе, если стрѣлку помѣстимъ внутри контура, образуемаго нѣсколькими оборотами свернутой спирально проволоки, то отклоненіе, производимое токомъ, будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше число оборотовъ проволоки. Но, чтобы заставить токъ протекать послѣдовательно по всѣмъ оборотамъ проволоки, необходимо изолировать отдѣльныя части другъ отъ друга. Этого достигаютъ, окружая проволоку по всей длинѣ шелковой обмоткой.

Основываясь на этомъ, Швейггеръ придумалъ очень важный приборъ, позволяющій обнаружить существованіе въ цѣпи даже сравнительно весьма слабыхъ токовъ; по производимому имъ дѣйствію, приборъ этотъ весьма удачно былъ названъ мультипликаторомъ. Но, отлагая на время описаніе этого прибора со всѣми его видоизмѣненіями и усовершенствованіями, посвятимъ наше вниманіе болѣе простому, но не менѣе важному прибору, также основанному на магнитномъ дѣйствіи тока, — такъ называемой тангенсъ-буссоли.

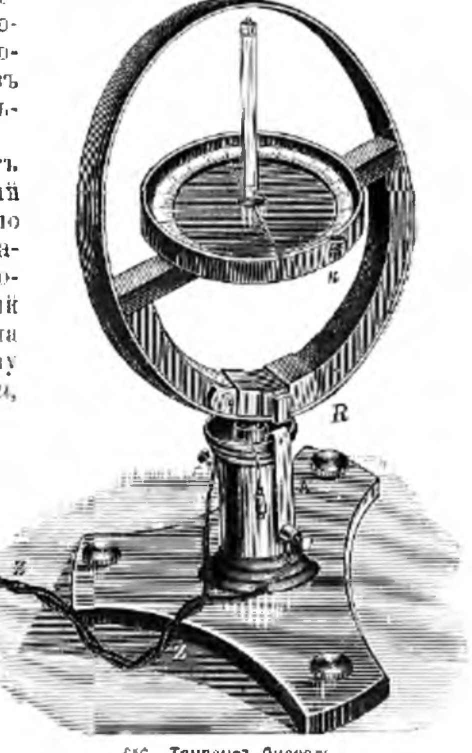
Въ конструкціи ея, изображенной на рис. 656, токъ проходитъ по мѣдному вертикальному круговому проводнику *R*, укрѣпленному на солидномъ деревянномъ штативѣ, основаніе котораго устанавливается горизонтально съ помощью трехъ винтовыхъ ножекъ. Кольцовой проводникъ въ нижней части имѣетъ разрѣзъ, и концы его соединяются съ двумя параллельными мѣдными пластинками *KK* (на рисункѣ видна только одна), къ которымъ въ свою очередь подводятся проводники отъ полюсовъ элемента. Кольцо можно вращать извѣстнымъ образомъ для установки въ плоскости магнитнаго меридіана. Въ серединѣ кольца находится буссолька съ круговой шкалой, дѣленія которой очень мелки. Короткая магнитная стрѣлка подвѣшена на коконовой нити и къ ней (перпендикулярно длинѣ) припаянъ легкій алюминіевый указатель, концы котораго опредѣляютъ относительныя положенія магнитной стрѣлки. Сбоку видна пуговка *K*, подымающая штифтъ, арретирующій стрѣлку. По поверхности мѣднаго кольца проложены еще пять вит-

ковъ хорошо изолированной проволоки, концы которой находятся въ сообщеніи съ зажимами; сюда присоединяютъ провода при изслѣдованіи особенно слабыхъ токовъ. Соединительныя проволоки ZZ отъ обоихъ полюсовъ элемента ведутся по возможности ближе другъ къ другу (даже скручиваются одна съ другой) для устраненія непосредственнаго вліянія ихъ на стрѣлку. При замыканіи тока стрѣлка буссоли выходитъ изъ плоскости магнитнаго меридіана. Величина отклоненія служитъ мѣрою силы тока, а, именно, при такомъ устройствѣ сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія α. Это можетъ быть выражено формулой $i = c.\tan g\,\alpha$. Величина c, зависящая отъ размѣровъ прибора и величины горизонтальной составляющей силы земного магнитизма въ данномъ мѣстѣ, называется **переводнымъ множителемъ тангенсъ-буссоли**. Тангенсъ-буссоль употребляется для сравнительно сильныхъ токовъ; для изслѣдованія слабыхъ токовъ служатъ **мультипликаторы** или **гальванометры**.

Сила, съ которой дѣйствуетъ элементъ кругового тока (рис. 557) на магнитный полюсъ μ, помѣщенный въ его центрѣ, по законамъ Ампера и Біо-Савара, направлена перпендикулярно плоскости, проходящей черезъ элементъ тока и магнитный полюсъ, а величина ея пропорціональна длинѣ элемента, силѣ тока i и количеству магнитизма, сосредоточеннаго въ полюсѣ μ,



655. Отклоненіе магнитной стрѣлки подъ дѣйствіемъ тока.

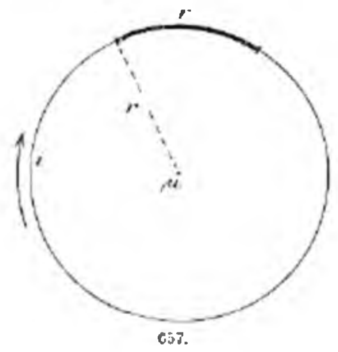


656. Тангенсъ-буссоль.

и обратно пропорціональна квадрату радіуса. Если длина элемента равна радіусу кругового проводника r, то сила взаимодѣйствія P равна произведенію изъ силы тока на количество магнитизма въ данномъ полюсѣ, дѣленному на радіусъ. Отсюда вытекаетъ слѣдующее простое опредѣленіе единицы силы тока въ абсолютной мѣрѣ. Положимъ: $r = 1$ см., P абсолютная единица силы, т.-е. дина, μ — единица магнитизма, тогда мы должны считать въ проводникѣ силу тока равной единицѣ, если этотъ токъ, проходя по круговому проводнику, радіусомъ въ 1 см., на протяженіи дуги, равной 1 см., дѣйствуетъ на единицу магнитизма, сосредоточеннаго въ центрѣ проводника съ силою, равной динѣ. Въ практикѣ за единицу силы тока принимаютъ одну десятую выраженной такимъ образомъ величины и называютъ ее **амперомъ**. Другое опредѣленіе ампера будетъ дано впослѣдствіи.

Гальванометръ. Мультипликаторъ Швейггера получилъ значительное усовершенствованіе, благодаря введенію въ его конструкцію такъ назы-

ваемой *астатической системы стрѣлокъ*, придуманной итальянскимъ физикомъ Нобили; цѣль этого изобрѣтенія ослабить вліяніе направляющей силы земного магнитизма и тѣмъ увеличить отклоняющее дѣйствіе тока.


657.

Астатическую систему стрѣлокъ, или *астатическую пару*, составляютъ двѣ магнитныя стрѣлки, по возможности съ однимъ и тѣмъ же магнитнымъ моментомъ, поставленныя параллельно другъ другу и скрѣпленныя поперечными столбиками такимъ образомъ, чтобы направленіе отъ одного какого-либо полюса къ другому было въ обѣихъ противоположно и чтобы онѣ могли вращаться вокругъ оси, какъ одна неизмѣняемая система. При свободномъ подвѣсѣ такая система не должна обнаруживать стремленія установиться въ какомъ-либо опредѣленномъ направленіи; она находилась бы въ равновѣсіи во всякомъ положеніи, если бы обѣ стрѣлки были вполнѣ одинаково намагничены, что на практикѣ, конечно, недостижимо; когда эта система отклоняется отъ своего начальнаго положенія дѣйствіемъ тока, то моментъ вращенія, вызываемый дѣйствіемъ земного магнитизма, очень незначителенъ. Конечно и сила, производящая въ этомъ случаѣ отклоненіе, то же самое, какое испытывалъ бы обыкновенный магнитъ (обладающій тѣмъ же магнитизмомъ), будетъ меньше. Но при этомъ астатическая система должна быть расположена такимъ образомъ, чтобы одна стрѣлка лежала внутри отклоняющей катушки, другая внѣ; тогда только обѣ стрѣлки пріобрѣтаютъ стремленіе вращаться въ одномъ направленіи.

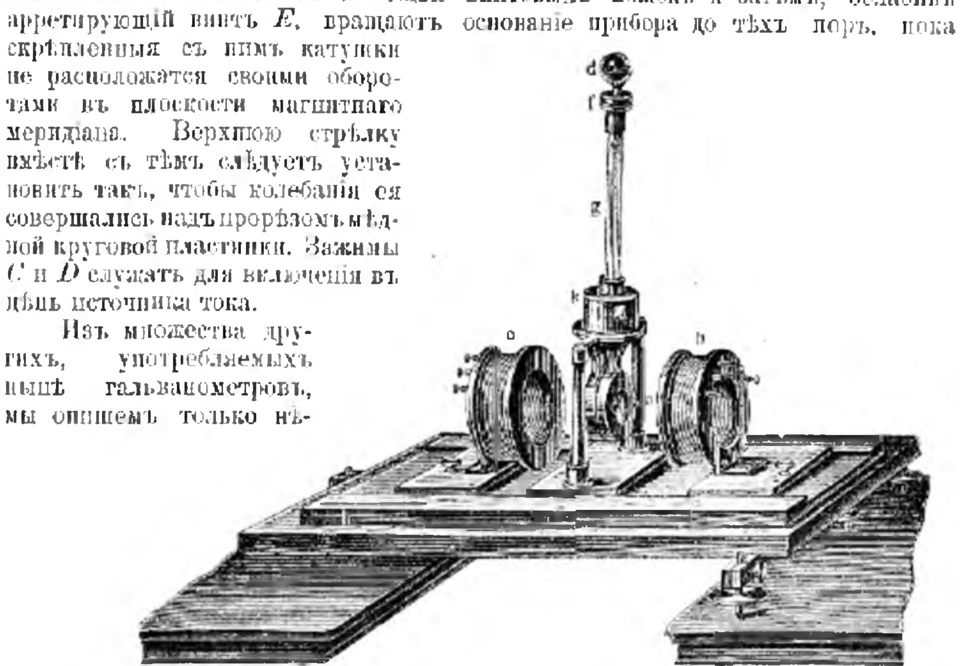

658. Астатическая пара.

659. Гальванометръ Нобили.

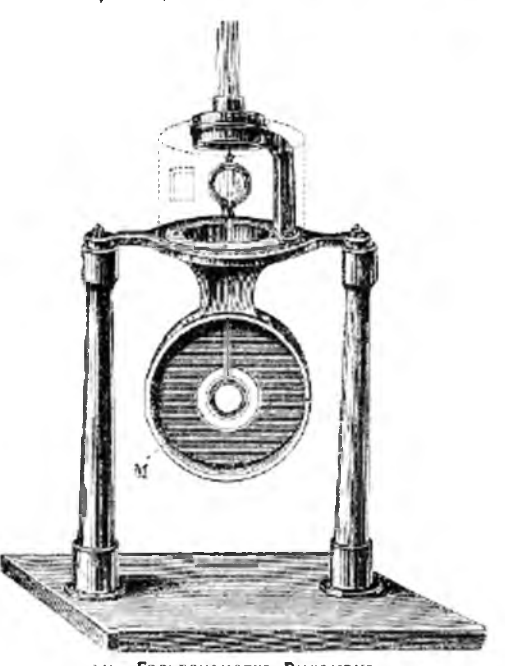
На рис. 659 представленъ гальванометръ Нобили, которымъ пользовались *Нобили* и *Меллони* въ своихъ изслѣдованіяхъ надъ распространеніемъ лучистой теплоты; позднѣе онъ получилъ широкое примѣненіе въ физіологіи. Астатическая пара стрѣлокъ, снабженная зеркальцемъ для наблюденія съ помощью зрительной трубы и шкалы подвѣшена на коконовой нити. Винтомъ K ее можно нѣсколько приподнять или опустить. Одна изъ стрѣлокъ находится внутри оборотовъ катушки, другая внѣ. Приборъ, подобный прибору Нобили, гдѣ употребляются катушки съ большимъ числомъ оборотовъ, можетъ быть названъ также *мультипликаторомъ*. Первоначально такое названіе приписывалось только самой катушкѣ. Общее наименованіе для всѣхъ приборовъ, служащихъ для измѣренія тока и основанныхъ на магнитномъ дѣйствіи тока, — *гальванометръ*. Между верхней стрѣлкой и катушкой гальванометра Нобили находится мѣдная круговая пластинка съ дѣленіями, служащая также для успокоенія коле-

башй стрѣлки. Для установки прибора приводятъ основаніе его въ горизонтальное положеніе съ помощью винтовыхъ ножекъ и затѣмъ, ослабивъ арретирующій винтъ E, вращаютъ основаніе прибора до тѣхъ поръ, пока скрѣпленныя съ нимъ катушки не расположатся своими оборотами въ плоскости магнитнаго меридіана. Верхнюю стрѣлку вмѣстѣ съ тѣмъ слѣдуетъ установить такъ, чтобы колебанія ея совершались надъ прорѣзомъ мѣдной круговой пластинки. Зажимы C и D служатъ для включенія въ цѣпь источника тока.

Изъ множества другихъ, употребляемыхъ нынѣ гальванометровъ, мы опишемъ только нѣкоторые особенно типичные и прежде всего зеркальный гальванометръ Видемана, конструкція котораго объясняется рис. 660 и 661. Кольцевой магнитъ M съ зеркальцемъ виситъ на коконовой нити, пропущенной черезъ стеклянную трубочку, съ вращающейся головкой f. Магнитъ помѣщенъ внутри мѣдной полости, въ которой онъ можетъ свободно вращаться. Винтъ d служитъ для того, чтобы магнитъ можно было нѣсколько приподнять или опустить. Внутренній діаметръ катушекъ гальванометра b и c столь значителенъ, что онѣ могутъ быть вплотную сдвинуты надъ мѣдной полостью a, служащей успокоителемъ колебаній магнита. Осевой прорѣзъ полости закрывается съ обѣихъ сторонъ стеклянными крышечками. Зеркальце гальванометра устраивается обыкновенно такъ, чтобы его можно было повернуть какъ угодно, въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіи; сверху его покрываютъ деревяннымъ колпачкомъ k съ небольшимъ стекляннымъ оконцемъ для защиты отъ вліянія, производимаго движеніемъ воздуха.

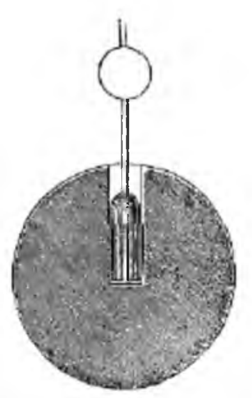


660. Зеркальный гальванометръ Видемана



661. Гальванометръ Видемана.

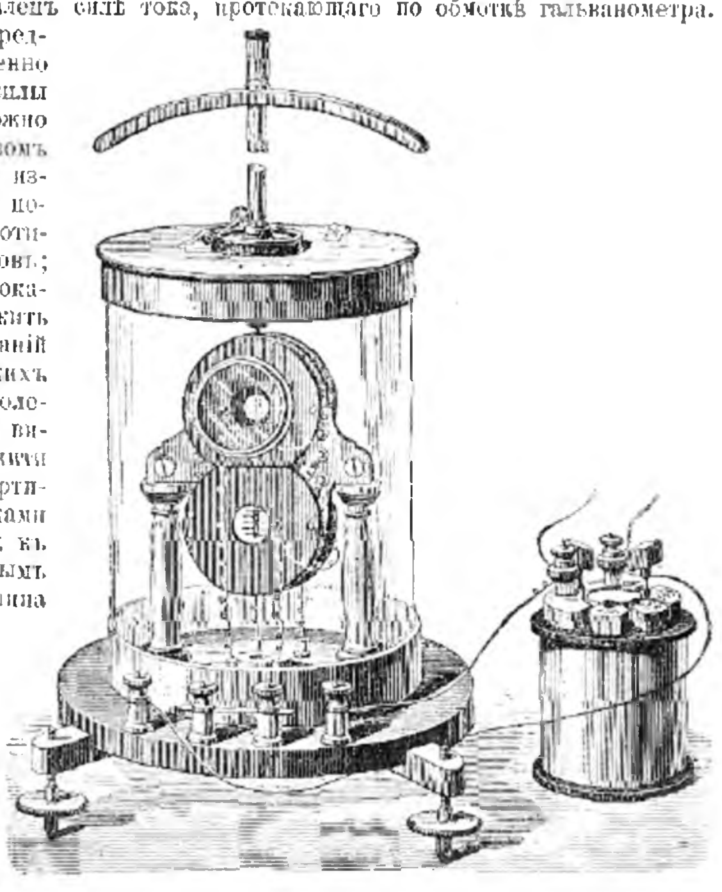
Одно изъ обстоятельствъ, замедляющихъ наблюденіе при работѣ съ гальванометромъ, сказывается въ слѣдующемъ: зеркальце совершаетъ большое число качаній прежде, чѣмъ устанавливается въ положеніи покоя. Для того, чтобы устранить по возможности этотъ недостатокъ, окружаютъ магнитъ мѣдной оправой. Въ послѣдней подъ вліяніемъ колебаній магнита, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, должны индуктироваться токи, своимъ электромагнитнымъ дѣйствіемъ препятствующіе продолженію колебаній и такимъ образомъ способствующіе скорѣйшему ихъ затуханію. Полнаго затуханія можно достигнуть, пользуясь такъ называемымъ гальванометромъ конструкціи Вернера Сименса, который впервые ввелъ въ употребленіе магниты колоколообразной формы. Они представляютъ изъ себя закрытую сверху стальную трубочку, 3 см. въ длину и 1 см. въ ширину, съ продольнымъ діаметральнымъ прорѣзомъ, намагничиваемую наподобіе подковообразнаго магнита (рис. 662). Магнитъ, по внѣшнему виду напоминающій прорѣзанный наперстокъ, въ сводчатой верхушкѣ снабженъ черенкомъ, къ которому можетъ быть придѣлано зеркальце, и совершаетъ свои колебанія въ цилиндрической выемкѣ массивнаго мѣднаго шара, доходящей почти до центра, которая въ разрѣзѣ представляется въ видѣ прямоугольника. Вслѣдствіе сравнительно малаго момента инерціи, сильнаго магнитизма и близости полюсовъ магнита къ окутывающей его полости затуханіе колебаній магнита здѣсь такъ велико, что въ результатѣ получаются колебанія апеnecessarily аперіодичныя, т.-е. отклоненный отъ первоначальнаго положенія равновѣсія магнитъ устанавливается въ новомъ положеніи, не совершивъ даже одного полнаго колебанія.


662. Колоколообразный магнитъ Сименса.

Однимъ изъ прекраснѣйшихъ и весьма чувствительныхъ приборовъ, служащихъ для электрическихъ измѣреній, является астатическій гальванометръ Вильяма Томсона (лорда Кельвина). Модель его, изготовленная лондонской фирмой бр. Элліотъ по личнымъ указаніямъ самого Томсона, представлена на рис. 663. Зеркальце въ этомъ гальванометрѣ образуетъ тоненькое покровное стеклышко. Магнитная система состоитъ изъ пяти плоскихъ легкихъ и короткихъ магнитовъ (приблизительно въ 4 мм. длиною); всѣ они прикрѣплены параллельно другъ другу къ задней поверхности покровнаго стеклышка. Такихъ системъ въ гальванометрѣ имѣются двѣ (вторая наклеена на слюдяную пластинку); онѣ соединены одна съ другой алюминіевыми столбиками такъ, чтобы можно было образовать изъ нихъ астатическую пару. Каждая система заключена внутрь отдѣльной круглой катушки; послѣднія раздѣлены на двѣ половинки, сходящіяся почти вплотную и оставляющія лишь узкій каналъ, черезъ который проходитъ алюминіевый стержень, связывающій обѣ системы между собой. Токъ обтекаетъ обѣ катушки въ противоположномъ направленіи, и такимъ образомъ дѣйствіе его на магнитную стрѣлку увеличивается. Подымая и опуская и въ то же время вращая въ томъ или другомъ направленіи помѣщенный выше катушекъ дугообразный магнитъ, мы по желанію можемъ измѣнять чувствительность гальванометра. Продолжительность качанія магнита очень невелика, такъ какъ онъ снабженъ хорошимъ успокоителемъ. По тому же типу, какъ Томсоновъ гальванометръ, построенъ астатическій гальванометръ Вернера Сименса (астатическая система образована двумя колоколообразными магнитами); за послѣднее время появилось еще много другихъ системъ, не отличающихся существенно отъ описаннаго прибора; всѣ усовершенствованія сводятся къ тому, чтобы магниты сдѣлать возможно легкими, по совѣту Бойса для

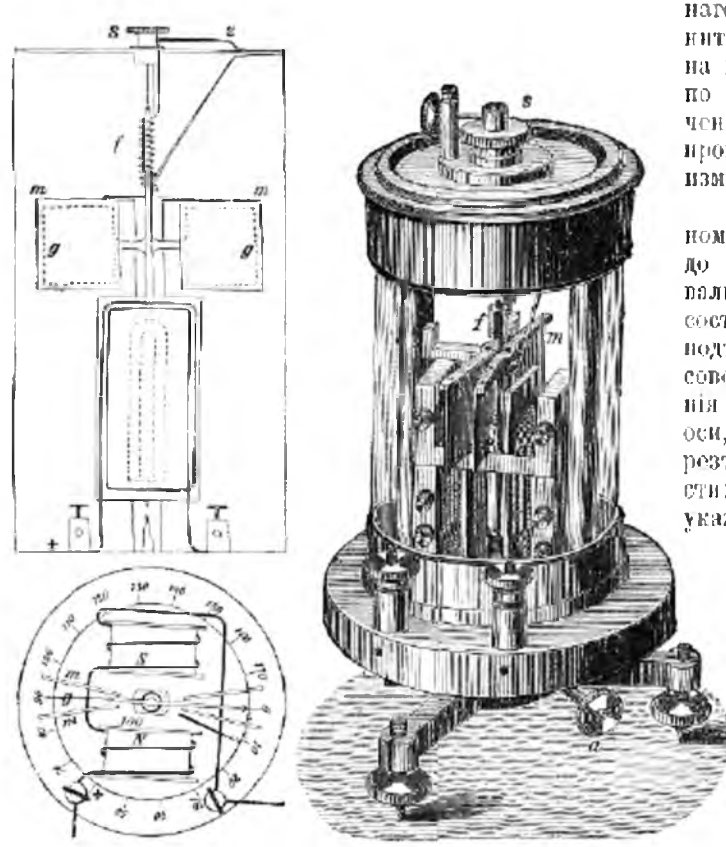
подвѣса вмѣсто коконовой — употребляютъ при этомъ очень тонкую кварцевую нить.

Къ числу приборовъ, весьма распространенныхъ за послѣднее время въ научной и технической практикѣ электрическихъ измѣреній, нужно отнести также **крутильный** гальванометръ Сименса, магнитъ котораго привѣшенъ съ помощью спирально согнутой пружинки. Отклоняющее дѣйствіе тока компенсируютъ закручиваніемъ пружины въ противномъ направленіи. Уголъ крученія пропорціоналенъ силѣ тока, протекающаго по обмоткѣ гальванометра. Гальванометръ предназначенъ собственно для измѣренія силы тока, но имъ можно также съ удобствомъ пользоваться для измѣренія разностей потенціаловъ и сопротивленій проводниковъ; кромѣ того его показанія могутъ служить контролемъ показаній другихъ техническихъ приборовъ. Колоколообразный магнитъ виситъ на коконовой нити между двумя вертикальными катушками (рис. 664 и 665); къ стерженьку, которымъ оканчивается вершина магнита, прикрѣпленъ очень легкій изогнутый алюминіевый указатель; кончикъ послѣдняго доходитъ почти до стеклянной оправы прибора и движется вблизи вытравленной на стеклѣ круговой шкалы; къ тому же стерженьку прикрѣпленъ одинъ конецъ тонкой спиральной пружинки F, другой конецъ прикрѣпленъ къ латунной головкѣ, также снабженной указателемъ Z, устанавливаемымъ параллельно первому указателю, движущемуся по вытравленному кругу; наконецъ еще въ сообщеніи со стерженькомъ магнита находится слюдяной флюгеръ gg, который треніемъ о воздухъ производитъ быстрое успокоеніе колебаній (магнитъ совершаетъ не больше трехъ качаній). Приборъ долженъ быть установленъ на неподвижномъ основаніи такимъ образомъ, чтобы полюсъ магнита, обозначенный буквой N, былъ обращенъ къ сѣверу. Послѣ этого ослабляютъ арретирующій винтъ, прикрѣпленный къ деревянной стойкѣ (на рисункѣ не обозначенъ) и дѣйствуютъ винтовыми ножками, стараясь магнитъ установить такъ, чтобы придѣланный книзу штифтикъ пришелся какъ разъ противъ средней части крестика, служащаго указателемъ. Затѣмъ верхній крутильный указатель вращеніемъ большого



663. Астатическій гальванометръ Томсона.

винта S съ заусеницами устанавливаютъ на нуль и, ослабивъ винтъ a, двигаютъ деревянную подставку съ катушками до тѣхъ поръ, пока прикрѣпленный къ магниту указатель также не станетъ противъ нуля; тогда катушки гальванометра закрѣпляютъ неподвижно, снова дѣйствуя винтомъ a. Когда желаютъ производить измѣренія съ помощью крутильнаго гальванометра, то его слѣдуетъ включить въ цѣпь такимъ образомъ, чтобы проходящій по катушкамъ токъ имѣлъ стремленіе вращать магнитъ въ направленіи противъ часовой стрѣлки. Винтъ же, закручивающій пружинку, нужно вращать по часовой стрѣлкѣ до тѣхъ поръ, пока отклонившійся отъ своего первоначальнаго положенія магнитъ не станетъ снова на нуль. Отмѣчаемый по шкалѣ уголъ крученія, какъ сказано, пропорціоналенъ силѣ измѣряемаго тока.

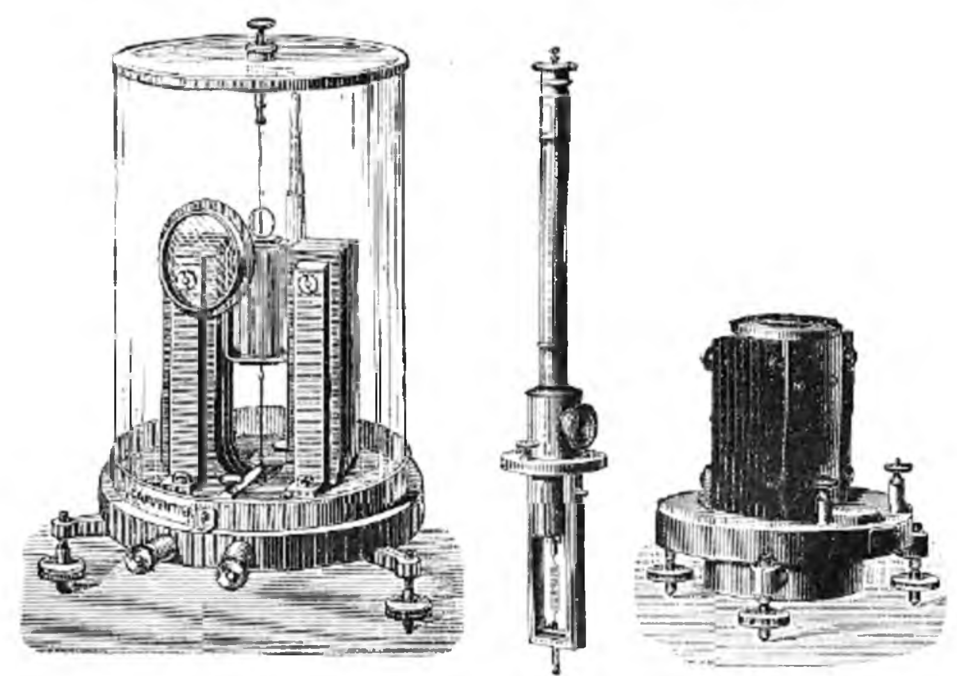


664 и 665. Крутильный гальванометръ Сименса.

Во всѣхъ гальванометрахъ, какіе мы до сихъ поръ описывали, подвижную часть составлялъ магнитъ, подъ дѣйствіемъ тока совершающій колебанія вокругъ нѣкоторой оси, проходящей черезъ его центръ тяжести; въ заключеніе мы укажемъ на такую конструкцію, гдѣ проволочная спираль, по которой пропускается токъ, сама отклоняется подъ дѣйствіемъ постояннаго магнита. Этотъ типъ въ настоящее время начинаетъ пріобрѣтать все большее распространеніе, благодаря тому, что здѣсь не приходится считаться съ вреднымъ вліяніемъ токовъ, проходящихъ по проводамъ, проложеннымъ вблизи прибора, тогда какъ при работѣ съ другими гальванометрами указанное обстоятельство сильно вліяетъ на точность отсчетовъ.

Построенный по изложенному принципу зеркальный гальванометръ Депрэ-д'Арсонваля имѣетъ слѣдующую конструкцію: между прямолинейными частями сильнаго подковообразнаго магнита (рис. 666) на двухъ мѣдныхъ проволочкахъ, служащихъ въ то же время полюсами для включенія источника тока, устанавливается четыреугольная проволочная рама такъ, чтобы она могла свободно вращаться вокругъ вертикальной оси (перпендикулярной оси магнита); натяженіе мѣдныхъ проволочекъ регулируется пружинкой, закручиваемой особымъ винтомъ. Внутри рамы помѣщенъ цилиндръ изъ мягкаго желѣза, увеличивающій магнитизмъ магнита. Когда по оборотамъ рамы

пропущенъ токъ, она отклоняется отъ первоначальнаго положенія покоя, и уголъ отклоненія, служащій мѣрою силы тока, опредѣляется съ помощью зрительной трубы по шкалѣ: зеркальце неподвижно скрѣплено съ рамой. Для увеличенія чувствительности прибора нерѣдко примѣняютъ односторонній подвѣсъ, замѣняя нижнюю растягивающую проволоку (мѣдную) платино-



666. Зеркальный гальванометръ д'Арсонваля.

667 и 668. Зеркальный гальванометръ Депрэ-д'Арсонваля (модель Сименса и Гальске).

вой проволокой, погруженной въ ртутную чашечку, металлически соединенную съ нижнимъ зажимомъ.

На рис. 667 и 668 изображена одна изъ послѣднихъ моделей зеркальнаго гальванометра Депрэ-д'Арсонваля съ неподвижнымъ магнитомъ и вращающейся катушкой, предложенная фирмою Сименсъ и Гальске. Рис. 667



669. Соленоидъ.

670. Соленоидъ съ желѣзнымъ сердечникомъ.

представляетъ выдвижную часть, состоящую изъ вращающейся рамы и желѣзнаго сердечника, заключенныхъ въ латунную трубку; чтобы вынуть эту часть изъ гальванометра, достаточно ослабить два винта. Рис. 668 изображаетъ магнитную систему, состоящую изъ шести наложенныхъ другъ на друга подковообразныхъ магнитовъ. Толстостѣнный, полый внутри желѣзный цилиндръ (сердечникъ), помѣщенный между полюсами магнита, предназначенъ для образованія по возможности однороднаго поля, чтобы тѣмъ обезпечить правильное отклоненіе рамы. Въ пространствѣ между магнитами и

сердечникомъ вращается мѣдная рама съ обмоткой, подвѣшенная на нити изъ фосфористой бронзы; къ нити прикрѣплено также небольшое зеркальце. Эта металлическая ниточка и спиральная пружинка, которой оканчивается рама, служатъ въ то же время для подвода тока. При переноскѣ подвижная рама можетъ быть закрѣплена при помощи арретира.

Электромагнитизмъ. Вскорѣ послѣ открытія Эрштедта опытами французскаго физика Араго (въ 1820 г.) было обнаружено, что желѣзо и сталь, помѣщенныя вблизи проводниковъ, по которымъ пропущенъ токъ, пріобрѣтаютъ магнитныя свойства. Вводя проволоку съ токомъ въ мѣдныя опилки, мы замѣтимъ, что послѣднія будутъ къ ней притягиваться и повиснутъ на ней, когда проволоку удалимъ. Всякій проводникъ съ токомъ создаетъ вокругъ себя магнитное поле, силовыя линіи котораго образуютъ круги, концентричные относительно средней линіи проводника и лежащіе въ плоскостяхъ нормальныхъ къ элементамъ проводника. Магнитное дѣйствіе еще болѣе усиливается, когда проводящая проволока скручена въ нѣсколько параллельныхъ витковъ, изолированныхъ другъ отъ друга. Такую форму проводника Амперъ, знаменитый французскій физикъ, предложилъ назвать соленоидомъ.

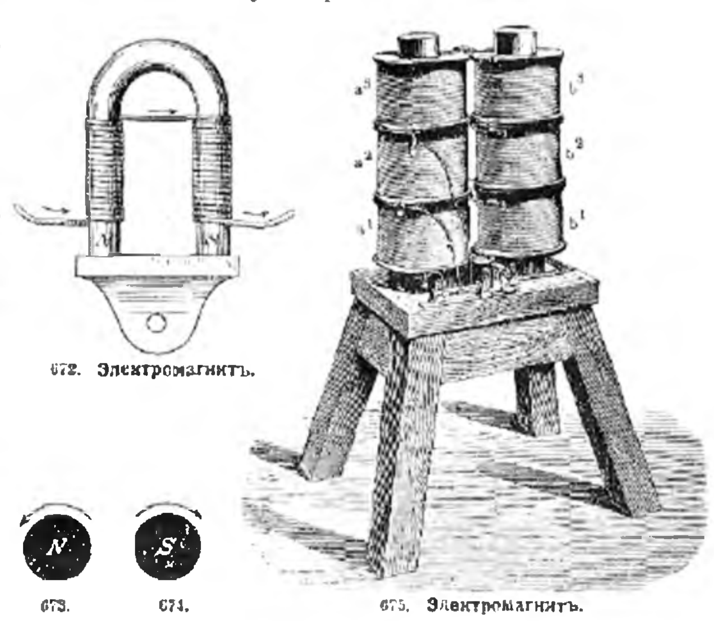


671. Андре Мари Амперъ.

Амперъ, имя котораго тѣсно связано съ исторіей развитія ученія объ электромагнитизмѣ, несмотря на то, что научныя работы его немногочисленны, долженъ быть признанъ однимъ изъ замѣчательнѣйшихъ физиковъ, когда-либо жившихъ на свѣтѣ. Онъ родился въ Ліонѣ 22 января 1775 г. и съ раннихъ лѣтъ уже обнаружилъ ревностное стремленіе къ образованію. Когда революція отняла отъ него состояніе, унаслѣдованное отъ отца, онъ принужденъ былъ добывать себѣ средства къ жизни, давая частные уроки по математикѣ. Будучи нѣкоторое время профессоромъ математики въ Центральной школѣ въ Бургѣ, онъ позднѣе вернулся опять въ Ліонъ, откуда наконецъ былъ приглашенъ въ Парижъ для занятія каѳедры въ Политехнической школѣ. Умеръ онъ 10 августа 1836 года во время путешествія, предпринятаго имъ въ качествѣ генеральнаго инспектора университетовъ. Кромѣ знаменитыхъ работъ въ области ученія объ электричествѣ, Амперъ оставилъ нѣсколько трактатовъ по механикѣ, оптикѣ и теоріи вѣроятностей, признанныхъ впослѣдствіи классическими.

Соленоидъ *Ампера представляетъ* собою полное подобіе магнита. Помѣстивъ его концы s_1 и s_2 (рис. 669) въ ртутныя чашечки такъ, чтобы весь

соленоидъ могъ свободно вращаться вокругъ вертикальной оси, проходящей черезъ s_1 и s_2, и пропустивши черезъ него токъ, мы замѣтимъ, что онъ, какъ магнитъ, установится по осевому направленію въ плоскости магнитнаго меридіана. Кромѣ того онъ проявляетъ и другія свойства обыкновенныхъ магнитовъ. Если приблизить къ соленоиду магнитъ, то однимъ концомъ соленоидъ будетъ къ нему притягиваться, отъ другого отталкиваться. Какой конецъ притягивается и какой отталкивается, зависитъ отъ направленія тока въ соленоидѣ. Подмѣченное Амперомъ соотношеніе между токомъ и магнитомъ навело его на мысль искать причину магнитизма въ возникновеніи молекулярныхъ гальваническихъ токовъ, обтекающихъ каждую частицу магнитнаго тѣла въ извѣстномъ направленіи. Возвращаемся къ аналогіи между магнитомъ и соленоидомъ. Послѣдній не только, подобно магниту, притягиваетъ желѣзо: на концахъ сильнѣе, а по мѣрѣ приближенія къ срединѣ все слабѣе, до полнаго отсутствія притяженія, но даже обладаетъ способностью индуктировать магнитизмъ въ стали и желѣзѣ. Желѣзный стержень, будучи помѣщенъ внутрь спирально скрученной изолированной проволоки (рис. 670), значительно увеличиваетъ дѣйствіе послѣдней на магнитъ или на другой проводникъ съ токомъ. Самый стержень (если онъ желѣзный или стальной)



672. Электромагнитъ.

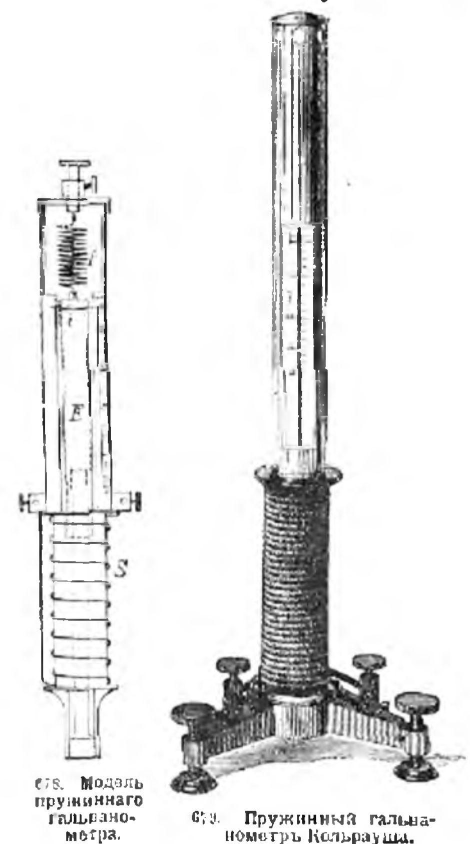
673. 674.

675. Электромагнитъ.

676. Приспособленіе для подвѣса у электромагнита.

677. Электромагнитъ Румкорфа.

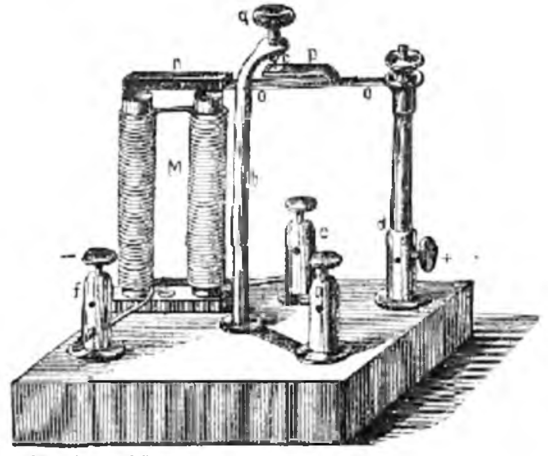
при этомъ также намагничивается, образуя южный и сѣверный полюсы на тѣхъ же концахъ, какъ у соленоида. По правилу Ампера сѣверный полюсъ является на томъ концѣ, который будетъ слѣва у наблюдателя, плывущаго по направленію тока и обращеннаго лицомъ къ магнитному стержню. Пользуясь этимъ правиломъ, мы найдемъ, что у стержня, представленнаго на рисункѣ, южный полюсъ будетъ находиться слѣва, а сѣверный справа.



678. Модель пружиннаго гальванометра.

679. Пружинный гальванометръ Кольрауша.

Мягкое желѣзо теряетъ весь магнитизмъ почти тотчасъ вслѣдъ за размыканіемъ тока; сталь наоборотъ — сохраняетъ магнитныя свойства долго послѣ прекращенія тока. Поэтому теперь для образованія сильныхъ магнитовъ всегда прибѣгаютъ къ помощи намагничивающихъ катушекъ. Еще лучшіе результаты достигаются съ электромагнитами. Такъ называются стержни изъ мягкаго желѣза, окруженные проволочной спиральной обмоткой, по которой можетъ быть пропущенъ токъ; пока продолжается циркуляція тока, ими можно пользоваться, какъ обыкновеннымъ магнитомъ. Какъ и у обыкновенныхъ магнитовъ, стержень электромагнита имѣетъ прямолинейную или подковообразную форму; въ послѣднемъ случаѣ (рис. 672) токъ долженъ быть пропущенъ въ томъ направленіи, какое указывается стрѣлками; тогда получается подковообразный магнитъ, у котораго, какъ легко объяснить, примѣняя правило Ампера, слѣва будетъ сѣверный полюсъ, справа южный. Совершенно согласнымъ съ Амперовымъ правиломъ является правило Дове, гласящее, что сѣверный полюсъ является съ той стороны, гдѣ токъ, если смотрѣть сверху, представляется идущимъ по часовой стрѣлкѣ.



680. Самодѣйствующій прерыватель Вагнера-Неффа.

Сила магнита увеличивается съ увеличеніемъ числа n оборотовъ обмотки и силы протекающаго по ней тока i. Если послѣдняя выражена въ амперахъ, то произведеніе ni называютъ числомъ амперъ-оборотовъ.

Мы сказали, что въ мягкомъ желѣзѣ магнитизмъ исчезаетъ почти вслѣдъ за прекращеніемъ дѣйствія намагничивающей силы, но нѣкоторое

измѣримое все же время онъ остается. Обусловливаемое этимъ обстоятельствомъ явленіе гистеризиса было нами описано ранѣе на стр. 501.

Вышеописаннымъ способомъ удается изготовить весьма сильные электромагниты. Одна изъ употребительнѣйшихъ формъ представлена на рис. 675. Два вертикальныхъ желѣзныхъ цилиндра укрѣплены на горизонтальномъ желѣзномъ основаніи. Тотъ и другой сердечникъ окружены каждый тремя обмотками, съ отдѣльными зажимами, благодаря чему ихъ можно включить или всѣ послѣдовательно, или всѣ параллельно, или примѣнить смѣшанное соединеніе. Коммутаторъ Румкорфа позволяетъ по желанію мѣнять направленіе тока въ обмоткахъ. Съ помощью такого электромагнита, снабженнаго заостренными наконечниками и приспособленіемъ для подвѣса (такимъ, какое указано, напримѣръ, на рис. 676) можно показать, какъ это сдѣлалъ Фарадей, что магнитныя свойства проявляются не только у желѣза, никкеля и кобальта, но, въ болѣе или менѣе сильной или слабой степени, и у всѣхъ прочихъ тѣлъ. При этомъ слѣдуетъ различать двѣ основныя группы: одну составляютъ тѣла, притягиваемыя полюсами электромагнита (какъ, напримѣръ, желѣзо), другую — отталкиваемыя (какъ, напримѣръ, висмутъ). Первыя названы тѣлами **парамагнитными**, вторыя **діамагнитными**. Стерженекъ *парамагнитнаго вещества устанавливается между наконечниками электромагнита*, питаемаго сильнымъ токомъ, въ длину по осевому направленію, т.-е. по линіи, соединяющей полюсы магнита, тогда какъ такой же формы стерженекъ, изъ діамагнитнаго вещества, принимаетъ экваторіальное положеніе, перпендикулярное первому. Желѣзо, никкель, кобальтъ и платина — всѣ эти тѣла парамагнитны, діамагнитными оказываются мѣдь, цинкъ, алюминій, висмутъ и др. Изъ жидкостей весьма сильныя магнитныя свойства проявляетъ растворъ хлорнаго желѣза; дистиллированная вода, наоборотъ, діамагнитна. Изъ многихъ газовъ всѣ, за исключеніемъ кислорода, обнаруживаютъ діамагнитность.

Вліяніе магнитнаго поля на распространеніе свѣтовыхъ колебаній. Въ 1845 году Фарадей сдѣлалъ замѣчательное для выясненія соотношенія между свѣтомъ и электричествомъ открытіе „магнитныхъ свойствъ пучка свѣтовыхъ лучей“. Онъ нашелъ, что прозрачныя тѣла, будучи помѣщены въ сильное магнитное поле, пріобрѣтаютъ способность вращать плоскость поляризаціи свѣта.

Для воспроизведенія этого опыта и нахожденія количественныхъ данныхъ, опредѣляющихъ величину вращенія, весьма удобенъ электромагнитъ конструкціи Румкорфа (рис. 677). Два сильные горизонтальные магнита M и N могутъ на своей стойкѣ K передвигаться по направленію другъ къ другу и въ любомъ положеніи быть установлены неподвижно съ помощью крылатокъ. Обмотки электромагнитовъ соединены между собою такимъ образомъ, что при пропусканіи тока послѣдовательно черезъ обѣ катушки на концахъ, обращенныхъ другъ къ другу, возникаютъ противоположные полюсы; направленіе тока можно мѣнять съ помощью коммутатора H. Наконечники электромагнита имѣютъ сквозныя отверстія по оси. Въ мѣстахъ b и a вдѣланы двѣ Николевы призмы. Первая, передъ которой устанавливается источникъ однороднаго свѣта, — положимъ, горѣлка съ натровымъ пламенемъ — является поляризаторомъ, вторая, снабженная вращающейся алидадой, служитъ анализаторомъ и позволяетъ опредѣлить уголъ вращенія плоскости поляризаціи. Когда между плотно сдвинутыми наконечниками помѣщено тѣло, представляющее изслѣдуемую прозрачную середину, анализаторъ начинаютъ вращать до тѣхъ поръ, пока при разсматриваніи черезъ него источника свѣта не получатъ въ полѣ зрѣнія полной темноты. Это будетъ служить признакомъ, что главныя сѣченія николей взаимно перпендикулярны. Въ полѣ зрѣнія опять появится свѣтъ, когда при пропусканіи тока въ сердечникахъ

возбудится магнитизмъ. Вращая анализаторъ слева до полученія темноты, по кругу съ дѣленіями опредѣлимъ уголъ, на который электромагнитъ вращаетъ плоскость поляризаціи вокругъ оси, совпадающей съ направленіемъ свѣтового луча.

Фарадей нашелъ, что плоскость поляризаціи свѣта поворачивается въ направленіи движенія тока по оборотамъ обмотки; уголъ вращенія пропорціоналенъ длинѣ пути луча въ прозрачной серединѣ, пропорціоналенъ силѣ намагничивающаго тока и зависитъ кромѣ того отъ природы изслѣдуемаго вещества. Величиной электромагнитнаго вращенія плоскости поляризаціи въ сѣроуглеродѣ нерѣдко пользуются, какъ мѣрой большой силы токовъ и большого напряженія магнитнаго поля.

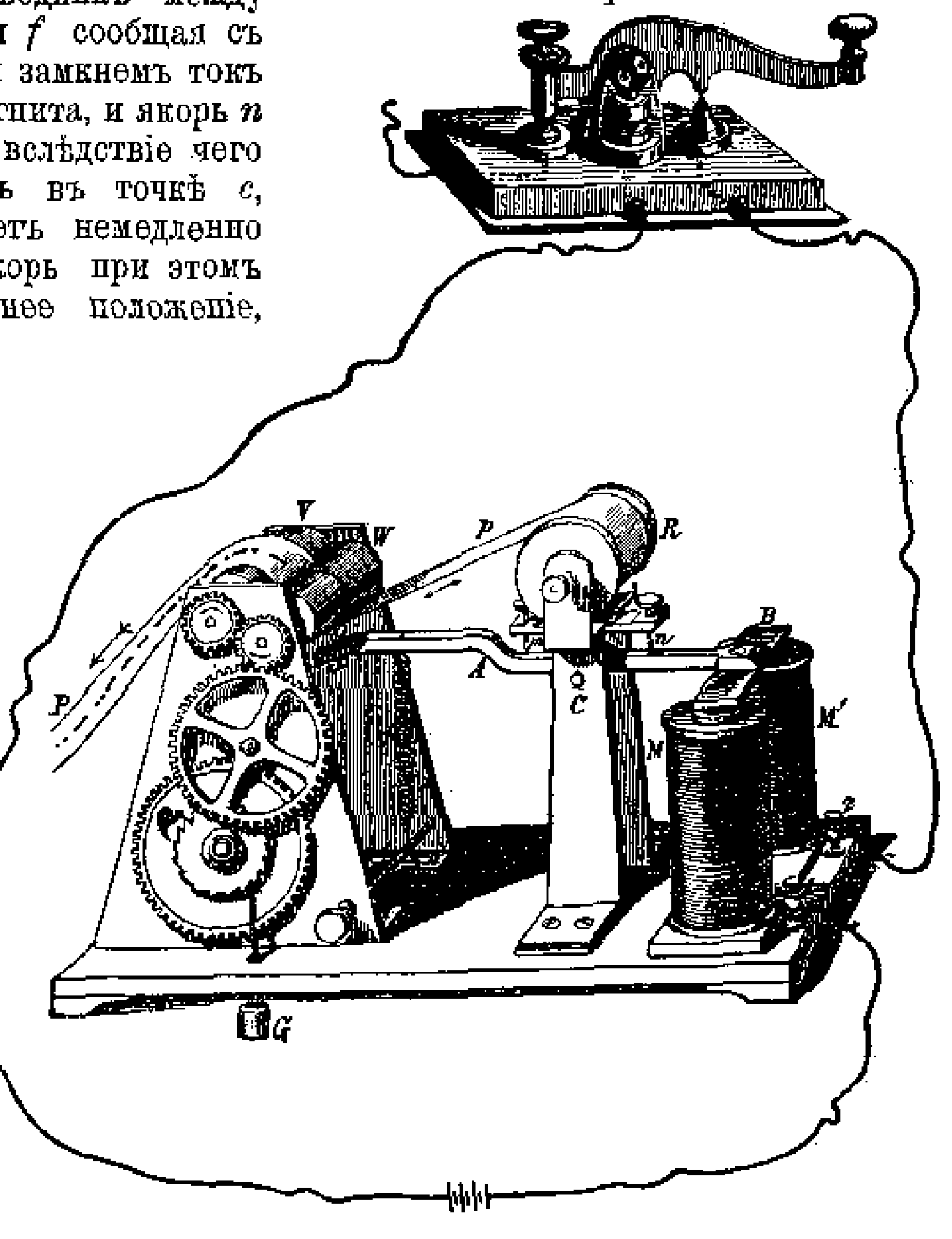

681. Самуэль Морзе.

Дѣйствіе соленоида на мягкое желѣзо. Если на продолженіи оси соленоида S, нѣсколько выше, подвѣсимъ на пружинкѣ f кусокъ мягкаго желѣза E (рис. 678), то при пропусканіи тока черезъ соленоидъ этотъ кусокъ намагнитится такимъ образомъ, что будетъ стремиться къ нему притянуться; при достаточной силѣ тока онъ даже будетъ втягиваться внутрь катушки. Втягивающая стержень сила по изслѣдованіямъ Ганкеля и Дуба пропорціональна квадрату силы тока и квадрату числа оборотовъ; такимъ образомъ, когда извѣстно число оборотовъ, по глубинѣ стержня внутри катушки можемъ заключить о томъ, сколь велика сила тока. На этомъ принципѣ основано устройство весьма простого прибора для измѣренія силы тока, такъ называемаго пружиннаго гальванометра Кольрауша (рис. 679), въ которомъ, совершенно какъ въ описанной схемѣ, въ соленоидъ втягивается желѣзная трубочка, привѣшенная на спиральной пружинкѣ; величина погруженія стерженька внутрь соленоида даетъ возможность опредѣлить силу тока по шкалѣ, которая градуируется эмпирически.

Самодѣйствующій прерыватель. На свойствѣ мягкаго желѣза намагничиваться подъ вліяніемъ тока, а послѣ размыканія его быстро терять магнитизмъ основывается устройство самодѣйствующихъ прерывателей, т.-е. небольшихъ, но весьма важныхъ машинокъ, которыя, благодаря остроумно придуманному механизму, автоматически производятъ быстро слѣдующія другъ за другомъ замыканія и размыканія тока.

На рис. 680 изображенъ прерыватель Вагнеръ-Неффа, въ которомъ быстрая смѣна замыканій и размыканій тока достигается благодаря колебательному движенію якоря, производимому самимъ электромагнитомъ. Электро-

магнитъ M снабженъ трубчатымъ сердечникомъ, такъ какъ при такомъ устройствѣ въ послѣднемъ быстрѣе развивается и исчезаетъ магнитизмъ, и только конечныя части его представляютъ изъ себя массивныя желѣзныя пластинки. Якорь n укрѣпленъ на мѣдной пластинкѣ $o o$, правый конецъ которой зажатъ неподвижно; вверху къ ней припаяна другая пружинка p съ небольшой платиновой прослойкой c. Когда токъ не замкнутъ, на прослойку давитъ винтикъ q, проходящій черезъ стерженекъ b; оконечность винта также сдѣлана изъ платины. Концы обмотки электромагнита подведены къ зажимамъ e и f. Включая проводникъ между a и e, а зажимы d и f сообщая съ полюсами батареи, мы замкнемъ токъ въ обмоткѣ электромагнита, и якорь n притянется къ нему; вслѣдствіе чего уничтожится контактъ въ точкѣ c, и токъ долженъ будетъ немедленно снова прерваться; якорь при этомъ возвратится въ прежнее положеніе, опять замкнетъ токъ и т. д. Такимъ образомъ токъ самъ вызываетъ колебательное движеніе, являющееся причиной попеременнаго его замыканія и размыканія.



682. Пишущій аппаратъ Морзе.

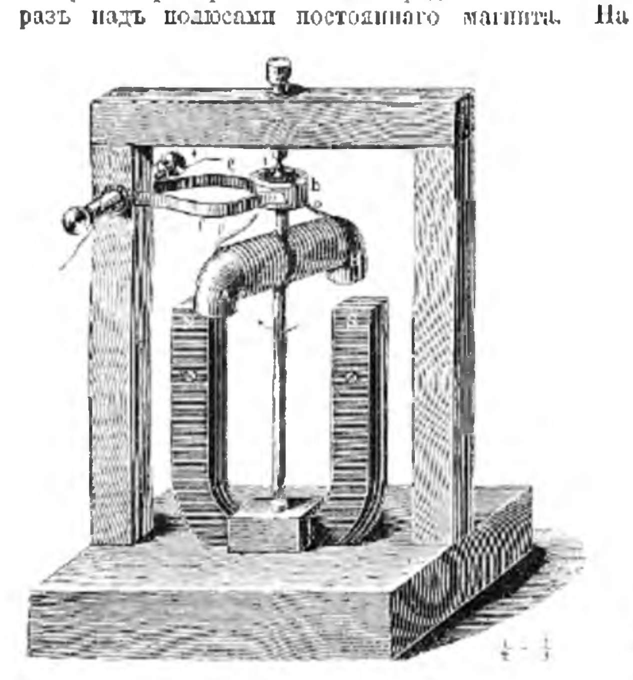
Аппаратъ Морзе. Представивъ, что якорь n небольшого электромагнита является однимъ изъ плечъ рычага, подпираемаго пружинкой f (рис. 682), другое плечо котораго снабжено штифтомъ, отмѣчающимъ при замыканіяхъ тока черточки на бумажной лентѣ, передвигаемой равномѣрно съ помощью часового механизма, мы легко уяснимъ себѣ принципъ пишущаго прибора въ телеграфѣ Морзе. Какъ скоро токъ будетъ разомкнутъ, пружинка оторветъ якорь n отъ электромагнита и вмѣстѣ съ тѣмъ удалитъ штифтъ отъ бумажной ленты. Смотря по тому, производится ли мгновенно, или длящееся нѣкоторое время замыканіе тока — то и другое можно осуществить съ помощью выключателя T или такъ называемой клавиши, — на лентѣ остаются слѣды въ видѣ точекъ и черточекъ; комбинируя ихъ различнымъ образомъ, получаютъ знакомыя всѣмъ обозначенія телеграфнаго алфавита Морзе.

Здѣсь мы не будемъ касаться ни исторіи развитія одного изъ первыхъ практическихъ примѣненій электричества, телеграфіи, ни того, какія теперь достигнуты въ этомъ дѣлѣ усовершенствованія, такъ какъ все это отно-

сится къ области электротехники и будетъ излагаться въ одномъ изъ слѣдующихъ томовъ.

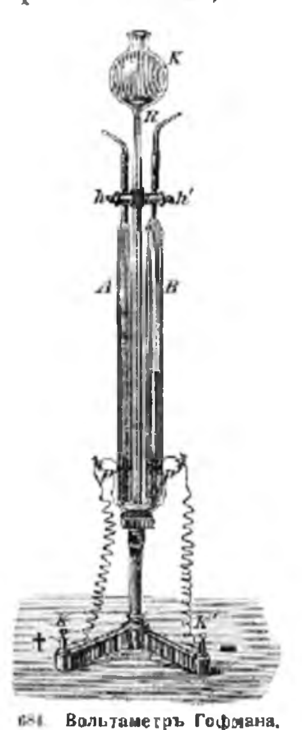
По той же самой причинѣ, не входя пока въ разсмотрѣніе всѣхъ многочисленныхъ примѣненій электромагнитизма къ устройству механизмовъ движенія, мы заключимъ этотъ отдѣлъ лишь объясненіемъ дѣйствія старѣйшей машины, служащей для превращенія энергіи электрическаго тока въ механическую работу, именно — машины Ричи.

Электромагнитная машина Ричи представлена на рис. 683. Главную часть ея составляетъ повернутый вверхъ ногами постоянный стальной магнитъ NS. Между ножками его проходитъ вертикальная ось, вращающаяся на остріяхъ; къ ней прикрѣпляется электромагнитъ AB, полюсы котораго при вращеніи оси передвигаются какъ разъ надъ полюсами постояннаго магнита. На





683. Электромагнитная машина Ричи.



684. Вольтаметръ Гофмана.

ту же ось насаженъ маленькій коммутаторъ, въ формѣ металлическаго кольца, раздѣленнаго изолирующей прокладкой на двѣ половинки h и i, сообщенныя съ концами проводовъ o и p обмотки электромагнита; кромѣ того на кольцо давятъ двѣ пружинки f и g, подводящія токъ. При томъ направленіи тока, какое указано на рисункѣ, въ точкѣ A образуется южный полюсъ, и, слѣдовательно, этотъ конецъ электромагнита будетъ испытывать притяженіе со стороны полюса N, тогда какъ сѣверный полюсъ B будетъ притягиваться южнымъ полюсомъ S; благодаря этому электромагнитъ придетъ во вращеніе въ направленіи, обозначенномъ стрѣлкою. Въ моменты совпаденія концовъ электромагнита съ концами постояннаго магнита, коммутаторъ будетъ измѣнять направленіе тока, такъ что A будетъ теперь отталкиваться отъ N, а B отъ S. Вращеніе будетъ продолжаться въ томъ же направленіи, съ перемѣной направленія тока черезъ каждые полуоборота. Вращеніе оси съ помощью зубчатой передачи можетъ быть сообщено маховому колесу, и такимъ путемъ затрата электрической энергіи будетъ сопровождаться производствомъ механической работы.

Химическія дѣйствія гальваническаго тока.

При изслѣдованіяхъ относительно распространенія тока въ проводящихъ тѣлахъ слѣдуетъ дѣлать различіе между проводниками перваго класса, не претерпѣвающими существеннаго измѣненія въ своихъ свойствахъ, и проводниками второго класса, химическая природа которыхъ измѣняется, а именно: они распадаются на составныя части, отлагающіяся въ тѣхъ мѣстахъ, куда вступаетъ и откуда выходитъ токъ. Погружая въ слабый растворъ сѣрной кислоты цинковую и мѣдную пластинки, соединенныя внѣ жидкости проволокой, мы можемъ констатировать въ образованномъ такимъ образомъ элементѣ слѣдующій химическій процессъ: кислородъ воды дѣйствуетъ на цинкъ и образуетъ окись цинка, которая, вступая въ свою очередь въ реакцію съ сѣрной кислотой, даетъ сѣрнокислый цинкъ (цинковый купоросъ); свободный водородъ осѣдаетъ на платинѣ. Окись цинка тотчасъ же вслѣдъ за ея образованіемъ поступаетъ въ растворъ, благодаря чему чистая цинковая пластинка снова поглощаетъ кислородъ и обогащаетъ растворъ кислоты окисью цинка. Пока можетъ продолжаться окисленіе цинка въ кислородѣ, до тѣхъ поръ токъ въ цѣпи не прекращается. Слѣдуетъ замѣтить, что химическій процессъ, подобный описанному, происходитъ не только внутри элемента, но во всякомъ проводникѣ второго класса, входящемъ въ цѣпь тока.



585. Гёмфри Дэви.

Соединяя конечные полюсы батареи, составленной изъ большого числа послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, съ платиновыми пластинками и погружая послѣднія въ подкисленную воду, мы можемъ наблюдать, какъ это впервые показали Никольсонъ и Карлейль вскорѣ послѣ открытія Вольты (въ 1800 г.), распаденіе воды на составныя части: кислородъ выдѣляется на одной пластинкѣ, соединенной съ положительнымъ полюсомъ батареи, а водородъ на другой, соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ. Выдѣленіе составныхъ частей происходитъ только вблизи электродовъ; въ другомъ мѣстѣ незамѣтно вовсе распаденія вещества или отдѣленія газовъ. По гипотезѣ Гротхуса это объясняется такимъ образомъ: подъ дѣйствіемъ тока достаточной силы атомы кислорода и водорода, изъ которыхъ образована каждая молекула воды, отдѣляются другъ отъ друга; освобожденные атомы водорода соединяются съ кислородомъ сосѣдней частицы, которая при этомъ распадается и выдѣляетъ водородъ, соединяющійся съ кислородомъ слѣдующей частицы; такой процессъ продолжается далѣе отъ молекулы къ молекулѣ на всемъ протяженіи между электродами; послѣдніе атомы водорода, не находя болѣе для себя атомовъ кислорода, съ которыми могли бы соединиться, выдѣляются въ газообразномъ

видѣ вблизи отрицательнаго электрода. Внутри жидкости отдѣленія газовъ не обнаруживается, такъ какъ распаденіе каждой молекулы сопровождается образованіемъ новой. Теорія диссоціаціи, основанія которой будутъ сейчасъ (см. слѣд. стр.) изложены, дастъ этому явленію иное объясненіе, повидимому болѣе согласное съ истиной.

Чтобы собрать отдѣльно выдѣляющіеся на электродахъ газы, весьма удобно воспользоваться приборомъ А. В. Гофмана, извѣстнаго подъ названіемъ газоваго вольтаметра (рис. 684).

Въ нижней части того и другого колѣна U-образной трубки AB впаяны платиновыя проволоки p и p'; продолженіе ихъ составляютъ платиновыя же пластинки. Отъ дугообразнаго скрѣпленія обоихъ колѣнъ (внизу) отходитъ трубка, вверху оканчивающаяся шаровымъ расширеніемъ K. Оба колѣна вольтаметра проградуированы и снабжены кранами h и h', которые, послѣ того какъ приборъ наполненъ подкисленной водой, слѣдуетъ держать закрытыми. Когда платиновыя проволоки будутъ сообщены съ полюсами баттареи, на каждомъ электродѣ будутъ выдѣляться газы; собираясь отдѣльно въ градуированныхъ колѣнахъ, они своимъ давленіемъ будутъ выталкивать жидкость въ среднюю трубку. Опытъ показываетъ, что водородъ (въ трубкѣ B) выдѣляется въ вдвое большемъ объемѣ, нежели кислородъ (въ трубкѣ A), т.-е. газы выдѣляются, относительно, въ томъ же количествѣ, въ какомъ они соединяются для образованія воды.



686. Опытъ Дэви надъ разложеніемъ щелочей.

Въ 1807 году Гемфри Дэви удалось произвести разложеніе щелочей и нѣкоторыхъ щелочноземельныхъ соединеній, считавшихся до того времени простыми элементами; его изслѣдованія показали, что здѣсь мы имѣемъ дѣло съ окислами, т.-е. съ соединеніями металла съ кислородомъ. Такъ, въ поташѣ имъ было обнаружено присутствіе калія, а въ содѣ натрія; кальцій, магній, алюминій и силицій, какъ онъ показалъ, входятъ въ составъ извести, магнезіи, глинозема и кремнезема. Всѣ эти данныя, какъ оказалось, впослѣдствіи имѣли огромное значеніе въ исторіи развитія химіи.

Въ присутствіи атмосфернаго воздуха калій и натрій невозможно сохранить въ чистомъ видѣ болѣе или менѣе продолжительное время. Сродство ихъ къ кислороду столь велико, что они берутъ послѣдній изъ воздуха и спѣшатъ вступить съ нимъ въ соединеніе. Поэтому-то въ природѣ нельзя отыскать названныхъ металловъ въ чистомъ видѣ; поэтому-то такъ много было потрачено времени и труда выдающимися учеными для нахожденія способа извлеченія ихъ изъ сложныхъ соединеній. Дэви удачно выполнилъ эту задачу, взявши кружокъ поташу (прогрѣтаго и высушеннаго); онъ соединилъ его съ положительнымъ полюсомъ сильной батареи, отрицательный же электродъ вводился въ углубленіе, сдѣланное въ этомъ кружечкѣ и заполняемое ртутью (рис. 686). Выдѣляющійся на отрицательномъ полюсѣ калій, въ предыдущихъ опытахъ всякій разъ сгоравшій, такъ какъ онъ получался въ очень измельченномъ видѣ, находилъ теперь себѣ защиту отъ окисляющаго вліянія воздуха въ ртути, съ которой могъ образовать механическую смѣсь — каліеву амальгаму. Для освобожденія калія отъ ртути Дэви подвергалъ полученную амальгаму дестиллированію. Такимъ же способомъ онъ получалъ металлическій натрій изъ соды, вызывая разложеніе ея дѣйствіемъ тока.

Пропуская гальваническій токъ черезъ растворъ хлористаго натрія (электроды берутся платиновые), мы вызываемъ не только разложеніе воды, но даже и соли; на положительномъ полюсѣ будутъ выдѣляться хлоръ и

кислородъ, а на отрицательномъ водородъ съ натріемъ. И изъ раствора какой угодно другой соли металлъ, какъ электроположительное тѣло, всегда отлагается на пластинкѣ, соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ, а кислородъ, какъ электроотрицательное вещество, на томъ электродѣ, который находится въ сообщені исъ положительнымъ полюсомъ батареи. Окрашивая растворъ поваренной соли лакмусомъ въ синій цвѣтъ, можно обнаружить выдѣленіе хлора благодаря производимому имъ обезцвѣчиванію жидкости вблизи соотвѣтствующаго электрода, такъ какъ хлоръ является однимъ изъ наиболѣе сильно дѣйствующихъ обезцвѣчивающихъ веществъ.

Включая между полюсами батареи кусочекъ пропускной бумаги, смоченной растворомъ іодистаго калія, мы обнаружимъ выдѣленіе іода на положительномъ электродѣ, что будетъ замѣтно благодаря коричневатому окрашиванію. Металлическій калій отлагается на отрицательномъ электродѣ.

Пропуская токъ черезъ растворъ соды въ сѣрной кислотѣ, подкрашенный лакмусомъ, легко можно обнаружить выдѣленіе соды изъ раствора вблизи положительнаго полюса благодаря появленію красноватаго окрашиванія.

Явленіе распаденія химически сложныхъ тѣлъ подъ дѣйствіемъ гальваническаго тока, согласно номенклатурѣ, введенной Фарадеемъ, принято называть электролизомъ, а самыя вещества, подвергающіяся разложенію, электролитами. Концы проводниковъ, между которыми вводится электролитъ, называются электродами (ὁδός по-гречески путь), причемъ электродъ, связанный съ положительнымъ полюсомъ батареи, носитъ названіе положительнаго электрода, или анода (ἀνά — туда), а электродъ, соединенный съ отрицательнымъ полюсомъ, называютъ катодомъ (κατά — оттуда). Составныя части, получаемыя какъ результатъ разложенія электролита токомъ, называются іонами (ἰέναι — идти, совершать путь); іонъ, отлагающійся на положительномъ электродѣ и составляющій электроотрицательную часть электролита, называется аніономъ, а другой, выдѣляющійся на отрицательномъ полюсѣ и составляющій электроположительную часть, — катіономъ. То, какимъ путемъ и способомъ совершается прохожденіе тока, сопровождаемое разложеніемъ электролита, называютъ явленіемъ электролитической проводимости или электропроводностью электролита.

Въ послѣднее время при объясненіи явленія электролитической проводимости чаще отдаютъ предпочтеніе не теоріи Гротхуса (стр. 571), а новой, введенной въ науку Клазіусомъ и обработанной Сванте Аррееніусомъ; по этой теоріи часть молекулъ электролита, даже когда черезъ послѣдній токъ не проходитъ, признается состоящей изъ отдѣльныхъ свободныхъ іоновъ, заряженныхъ электричествомъ. Несмотря на существованіе подобныхъ зарядовъ, электролитъ не обнаруживаетъ электризаціи въ силу того, что въ каждой единицѣ объема число аніоновъ и катіоновъ, обладающихъ одинаковыми зарядами противоположнаго знака, считается постояннымъ. При пропусканіи тока электрическія силы вызываютъ движеніе свободныхъ іоновъ въ противоположныхъ другъ другу направленіяхъ: аніоны, заряженные отрицательно, направляются къ аноду, а катіоны, имѣющіе положительный зарядъ, къ катоду. Дойдя до электродовъ, іоны теряютъ свой зарядъ и, не связанные болѣе силой электрическаго взаимодѣйствія, выдѣляются въ видѣ продуктовъ электролиза.

Законы химическаго дѣйствія тока открыты Фарадеемъ и выражаются слѣдующимъ образомъ.

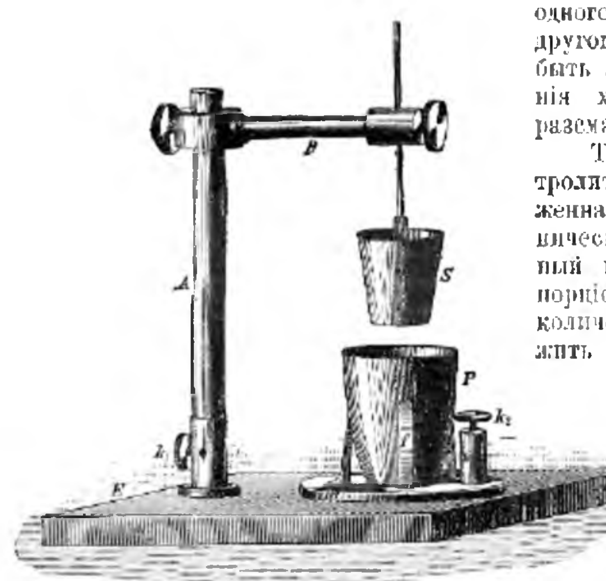
Количество разложеннаго гальваническимъ токомъ электролита пропорціонально силѣ и продолжительности дѣйствія тока, иначе: пропорціонально количеству протекшаго электричества.

При одинаковомъ токѣ различные электролиты подвергаются разложенію въ эквивалетномъ химически количествѣ, т.-е. количества выдѣленныхъ ве-

ществъ относятся между собою, какъ частичные вѣса составныхъ частей, образующихъ химическое соединеніе.

Совокупность обоихъ законовъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ: количества вещества, разложеннаго, освобожденнаго или выдѣленнаго гальваническимъ токомъ, выражается произведеніемъ изъ силы тока на продолжительность его дѣйствія, умноженнымъ еще на нѣкоторый постоянный коэффиціентъ, зависящій отъ природы вещества и называемый электрохимическимъ эквивалентомъ.

Электрохимическій эквивалентъ — это количество вещества выдѣляемое въ единицу времени дѣйствіемъ тока, сила котораго равна единицѣ. Его выражаютъ въ граммахъ, если сила тока выражена въ абсолютныхъ единицахъ. Разъ электрохимическій эквивалентъ опредѣленъ для одного какого-либо вещества, для другого вещества онъ можетъ быть легко найденъ изъ сравненія химическихъ эквивалентовъ разсматриваемыхъ соединеній.



687. Серебряный вольтаметръ.

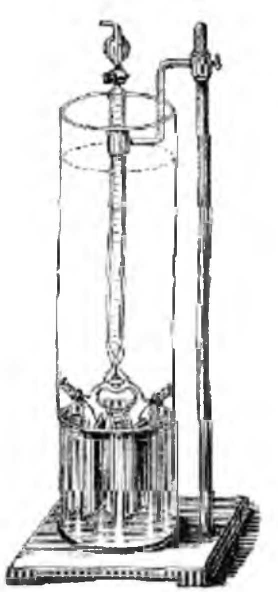
Такъ какъ количество электролитическаго вещества, разложеннаго или выдѣленнаго гальваническимъ токомъ за опредѣленный промежутокъ времени, пропорціонально силѣ тока, то это количество прямо можетъ служить мѣрою силы различныхъ токовъ. Приборы, измѣряющіе, какъ велико количество вещества, разложеннаго токомъ, носятъ названіе вольтаметровъ.

Работами многихъ ученыхъ было установлено съ большой точностью, въ какомъ количествѣ выдѣляется серебро изъ раствора соли серебра дѣйствіемъ тока той или другой силы за опредѣленный промежутокъ времени, такъ что этимъ даже воспользовались для опредѣленія практической единицы силы тока, или ампера: постоянный токъ обладаетъ силою въ 1 амперъ, если онъ при прохожденіи черезъ водный растворъ азотносеребряной соли выдѣляетъ въ 1 секунду 0,001118 граммовъ серебра. Такъ какъ по второму закону Фарадея количество выдѣляемаго токомъ вещества пропорціонально его химическому эквиваленту, то, взявши за основаніе данныя для серебра, мы получимъ, что токъ силою въ 1 амперъ, въ одну секунду, выдѣляетъ 0,000328 гр. мѣди, разлагаетъ 0,0000933 гр. воды, образуя 0,174 куб. см. гремучей смѣси при 0° C и 76 см. давленія.

Серебряный вольтаметръ. Одна изъ самыхъ удобныхъ формъ серебрянаго вольтаметра изображена на рисункѣ 687. Приборъ этотъ состоитъ изъ платиновой чашечки P, служащей катодомъ, въ которую наливается чистый водный растворъ (15—30%) азотнокислаго серебра. Платиновая чашечка находится въ металлическомъ сообщеніи съ однимъ изъ двухъ зажимныхъ винтовъ изолирующаго штатива, а именно съ винтомъ, къ которому подводится отрицательный полюсъ батареи. Анодъ, который можетъ быть перемѣщаемъ вдоль металлическаго столбика, снабженнаго зажимнымъ

винтомъ K_1, имѣетъ иногда конусообразную форму, иногда же форму стерженька или спирали изъ химически чистаго серебра. Для того, чтобы воспрепятствовать отпаденію частичекъ серебра отъ анода, его обыкновенно окружаютъ кусякомъ или пропускной бумагой, а иногда помѣщаютъ въ стеклянный стаканчикъ. Передъ опытомъ платиновую чашку моютъ въ азотной кислотѣ, прополаскиваютъ дестиллированной водой и затѣмъ, прогрѣвши ее въ воздушной банѣ, охлаждаютъ и высушиваютъ съ помощью эксиккатора. Послѣ того чашечку подвергаютъ точному взвѣшиванію. Заполнивъ вольтаметръ растворомъ азотносеребряной соли, соединяютъ катодъ съ отрицательнымъ, а анодъ съ положительнымъ полюсомъ постоянной батареи и замѣчаютъ время пропусканія тока по хорошимъ часамъ (токъ слѣдуетъ пропускать въ продолженіе около получаса). По прекращеніи тока, катодную чашечку слѣдуетъ промыть теплой дестиллированной водой, высушить въ воздушной банѣ и, охладивши, снова взвѣсить на точныхъ вѣсахъ. Зная время пропусканія тока, опредѣляемъ его силу изъ привѣса катода. Результатъ дается въ амперахъ.

Въ мѣдномъ вольтаметрѣ электролитомъ является концентрированный растворъ чистаго мѣднаго купороса (приблизительно одна часть кристаллической соли на три вѣсовыхъ части дестиллированной воды); анодомъ служитъ пластинка изъ чистой мѣди, катодомъ платиновая или тоже мѣдная пластинка.

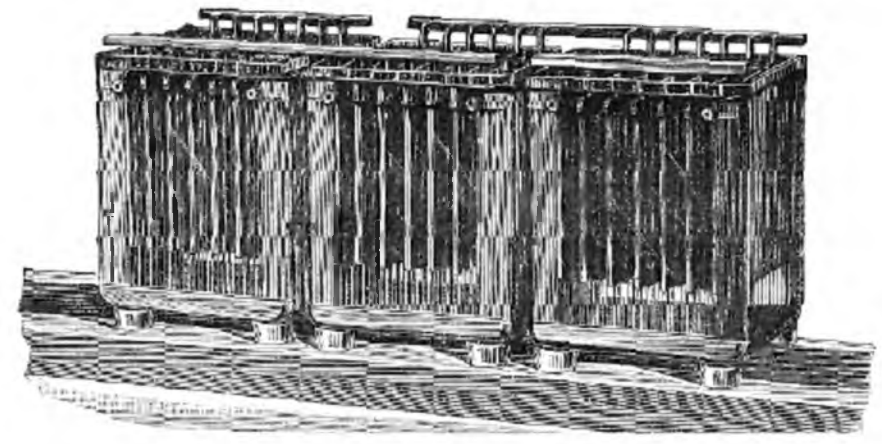

689. Водяной вольтаметръ.

Въ водяномъ вольтаметрѣ электролитомъ служитъ подкисленная вода, точнѣе слабый растворъ (10—20%) сѣрной кислоты; электроды представляютъ изъ себя небольшія платиновыя пластинки, укрѣпленныя на платиновыхъ же проволочкахъ, впаянныхъ въ преграду ированную трубку (рис. 688). Опредѣленіе силы тока сводится или къ измѣренію вѣса воды, подвергшейся разложенію, находимаго взвѣшиваніемъ вольтаметра до и послѣ опыта, при этомъ электролизъ происходитъ въ открытомъ пространствѣ, или къ измѣренію объема образовавшагося вслѣдствіе электролиза гремучаго газа (газовый вольтаметръ). Въ этомъ случаѣ необходимо принять во вниманіе температуру и давленіе, подъ которымъ находится газъ. Для разложенія воды необходимо примѣненіе батареи по крайней мѣрѣ изъ трехъ элементовъ Даніэля, такъ какъ электродвижущая сила поляризаціи, вслѣдствіе выдѣленія гремучаго газа, можетъ достигнуть почти 3-хъ вольтъ.

Поляризація электродовъ. Въ опытѣ, описанномъ на стр. 571, при пропусканіи тока черезъ подкисленную воду, куда погружены платиновыя пластинки, анодъ притягиваетъ къ себѣ электроотрицательную часть воды (кислородъ), тогда какъ электроположительная часть (водородъ) выдѣляется у катода. Оба электрода при этомъ, какъ говорятъ, *поляризуются*, т.-е. покрываются тонкимъ слоемъ пузырьковъ газа (на одномъ кислорода, на другомъ водорода), вызывающихъ послѣ удаленія изъ цѣпи батареи и соединенія электродовъ проволокой гальваническій токъ, называемый **поляризаціоннымъ токомъ**. Слой водорода соотвѣтствуетъ положительному полюсу, а слой кислорода — отрицательному, такъ что направленіе поляризаціоннаго тока обратно направленію первоначальнаго тока батареи. Но поляризаціонный токъ дѣйствуетъ весьма короткое время: разлагая воду, онъ выдѣляетъ кислородъ на томъ электродѣ, который былъ покрытъ пузырьками водорода, а водородъ на томъ электродѣ, гдѣ раньше выдѣлялся кислородъ; разно-

родные газы нейтрализують другъ друга. Возникновеніе поляризаціоннаго тока ослабляетъ токъ батареи, да къ тому же и въ самой батареѣ развиваются поляризаціонные токи въ направленіи, обратномъ главному току, еще болѣе способствующіе паденію силы первоначальнаго тока. Поэтому *элементъ съ одной жидкостью вслѣдствіе поляризаціи электродовъ не можетъ дать* постоянной электродвижущей силы. Чтобы по возможности устранить вліяніе поляризаціи и добиться постоянства въ дѣйствіи элементовъ, примѣняютъ комбинацію изъ двухъ жидкостей.

Химическіе процессы въ элементахъ. Прохожденіе тока въ элементѣ Даніэля и другихъ, представляющихъ его видоизмѣненіе, сопровождается образованіемъ цинковаго купороса и распаденіемъ мѣднаго. Цинковый купоросъ образуется вслѣдствіе сгоранія цинка въ сѣрной кислотѣ, тогда какъ распаденіе мѣднаго купороса вызываетъ отложеніе мѣди на мѣдномъ электродѣ, вѣсъ котораго вслѣдствіе этого увеличивается. Постоянство



689. Батарея аккумуляторовъ.

элемента не измѣняется, пока растворъ мѣднаго купороса обладаетъ еще достаточной концентраціей. Въ элементѣ Грове и Бунзена деполяризаторомъ является концентрированная азотная кислота. Освобождающійся при разложеніи воды кислородъ возстановляетъ азотную кислоту въ двуокись азота (азотноватая кислота), которая съ водой снова образуетъ азотную кислоту и окись азота. Послѣдняя частью растворяется въ азотной кислотѣ (реакція сопровождается образованіемъ двуокиси азота), частью выдѣляется и, окисляясь въ воздухѣ, также образуетъ двуокись азота.

Вторичные элементы или аккумуляторы. Хотя поляризація съ одной стороны принадлежитъ къ числу явленій, которыя желательно устранить при образованіи постоянныхъ элементовъ, съ другой стороны она же даетъ въ руки средство, которымъ за послѣднее время съ выгодой пользуются, какъ новымъ источникомъ тока, примѣняя его при устройствѣ такъ называемыхъ вторичныхъ элементовъ или аккумуляторовъ, имѣющихъ самое широкое распространеніе въ электротехникѣ и употребляемыхъ съ самыми разнообразными цѣлями.

Здѣсь мы не намѣрены входить въ подробности относительно изготовленія и способа дѣйствія аккумуляторовъ различныхъ системъ; достаточно будетъ, если мы изложимъ вкратцѣ лишь самыя необходимыя свѣдѣнія.

Помѣстимъ въ слабый растворъ сѣрной кислоты двѣ свинцовыя пластинки и пропустимъ черезъ эту цѣпь токъ по крайней мѣрѣ отъ двухъ эле-

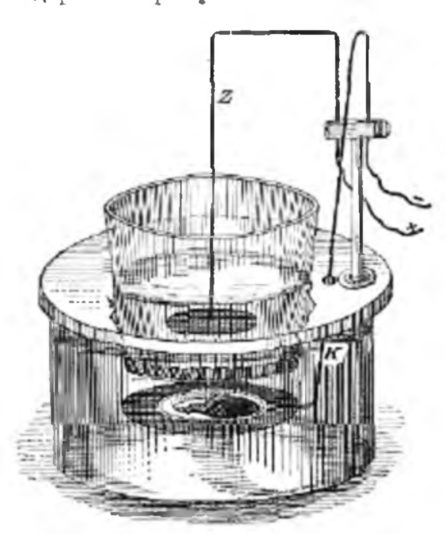
ментовъ Бунзена; тогда положительная пластинка, соединенная съ углемъ Бунзеновыхъ элементовъ, покроется перекисью свинца, на отрицательной будетъ выдѣляться водородъ, если же она раньше была покрыта окисломъ, то должно произойти возстановленіе свинца. По прекращеніи дѣйствія первоначальнаго тока пластинки, оказывается, обладаютъ свойствами электродовъ такъ называемаго вторичнаго элемента; положительный полюсъ образуется на томъ концѣ, который ранѣе былъ соединенъ съ положительнымъ же полюсомъ батареи. При дѣйствіи вторичнаго элемента, внутри послѣдняго совершается описанный уже процессъ, но только онъ идетъ въ обратномъ порядкѣ. Положительная пластинка возстановляется, а отрицательная окисляется. Токъ перемѣнной силы продолжается до тѣхъ поръ, пока пластинки не вернутся къ первоначальному состоянію. Не доводя однако разряда до конца, аккумуляторы по прошествіи извѣстнаго времени снова заряжаютъ. Вслѣдствіе многократнаго повторнаго заряженія и разряженія пластинки аккумуляторовъ получаютъ своеобразную **формацію**, дѣлающую ихъ болѣе пригодными къ воспріятію перекиси свинца. Формированіе аккумуляторовъ увеличиваетъ продолжительность вторичнаго тока. Все это составляетъ основу идей **Планте**, впервые указавшаго способъ изготовленія вторичнаго элемента съ свинцовыми пластинками, въ 1860 году. Что свинцовыя пластинки могутъ дать сильный поляризаціонный токъ, было показано еще за нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ въ 1854 году. **Форъ** для того, чтобы ускорить процессъ формированія аккумуляторовъ, придумалъ покрывать электродныя пластинки заранѣе слоемъ сурика. Благодаря этому средству (вошедшему повсюду въ употребленіе), положительная пластинка покрывается обильнымъ количествомъ перекиси, а на отрицательной образуется губчатый свинецъ. Различныя системы аккумуляторовъ отличаются одна отъ другой только способомъ изготовленія пластинокъ, удобныхъ для покрытія ихъ слоемъ активнаго вещества. Обыкновенно для этой цѣли берутся массивныя пластинки, съ желобками или выступами на поверхности, иногда же онѣ дѣлаются рѣшетчатыми, и въ рѣшеточки набивается активная масса, переходящая съ одной стороны въ перекись свинца, съ другой стороны въ губчатый свинецъ. Такое устройство обусловливаетъ болѣе свободное прохожденіе тока и вмѣстѣ съ тѣмъ предохраняетъ аккумуляторы отъ порчи.


690. **Морицъ Германъ Якоби, изобрѣтатель гальванопластики.**

На рис. 689 изображена небольшая батарея аккумуляторовъ системы Акціонернаго общества аккумуляторовъ въ Гагенѣ (въ Вестфаліи).

Химическія дѣйствія тока, въ объясненіе которыхъ мы привели лишь нѣсколько наиболѣе важныхъ примѣровъ, столь разнообразны и изученіе ихъ обнимаетъ столь широкую область, что имъ даже посвященъ особый отдѣлъ науки, именуемой электрохиміей. За послѣднее время работы въ этой области не только способствовали болѣе полной научной обработкѣ и преобразованію теорій электрическихъ явленій, но и съ чисто практической точки зрѣнія имѣли чрезвычайно важное значеніе, положивъ основаніе новой отрасли электротехники.

Гальванизированіе и гальванопластика или гальванотипія составляютъ между прочимъ одно изъ важнѣйшихъ приложеній электрохиміи, благодаря которому является возможность металлизировать предметы посредствомъ разложенія гальваническимъ токомъ солей золота, серебра, мѣди и никкеля; выдѣляющійся при этомъ процессѣ металлъ плотно пристаетъ къ предмету. Разсматривая осадокъ на мѣдной пластинкѣ элемента Даніэля, дивишься искусству природы: осадокъ этотъ совершенно плотный, сплошной и вмѣстѣ съ тѣмъ онъ настолько нѣженъ, что всѣ неровности, углубленія и возвышенности электродной пластинки на немъ вполнѣ ясно отпечатлѣваются. Въ основѣ это явленіе открыто Вахомъ въ 1830 г.; работая тогда надъ составленіемъ постоянной батареи, онъ обратилъ вниманіе на отложеніе мѣди на электродной пластинкѣ.



691. Аппаратъ для гальванопластики.

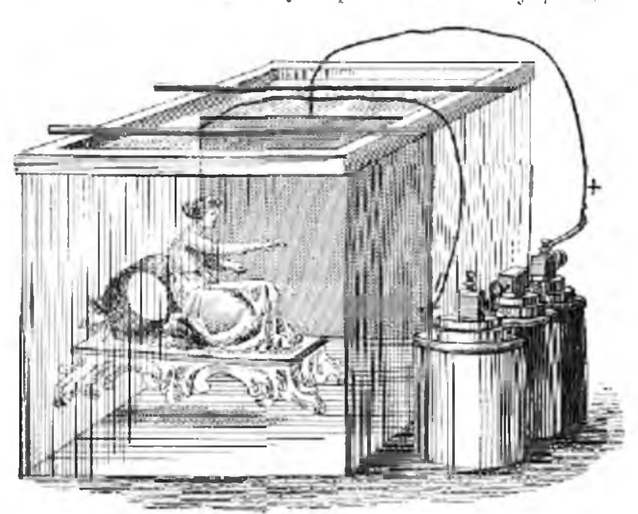
Весьма вѣроятно, что процессы гальванопластики совершаются въ природѣ, можетъ-быть, уже нѣсколько милліоновъ лѣтъ въ обширныхъ размѣрахъ. По крайней мѣрѣ для объясненія образованія залежей чистыхъ металловъ въ нѣкоторыхъ пунктахъ земной поверхности, какъ напр. въ Верхнихъ Озерахъ Сѣв. Америки, а также осадочной формаціи (выдѣленіе изъ раствора) мѣди въ слояхъ горныхъ породъ, нельзя найти болѣе простого объясненія, какъ допустивъ, что гальваническій токъ, которымъ пользуются въ химическихъ лабораторіяхъ для полученія чистой мѣди, и здѣсь, въ огромныхъ мастерскихъ вселенной, проявляетъ свою дѣятельность.

Двое ученыхъ, Г. Якоби въ Петербургѣ и Спенсеръ въ Ливерпулѣ, повидимому, одновременно и независимо одинъ отъ другого, задались мыслью, покрывать различныя формы слоемъ мѣди, отлагаемой на отрицательномъ электродѣ. Въ 1838 г. Якоби были произведены первые опыты гальванопластики, за удачное выполненіе которыхъ онъ получилъ отъ правительства 25 000 руб. награды.

Приборъ для занятій гальванопластикой представляетъ изъ себя въ общихъ чертахъ подобіе гальваническаго элемента: онъ можетъ быть, напримѣръ, составленъ изъ цинка, погруженнаго въ растворъ цинковаго купороса и мѣди въ растворѣ мѣднаго купороса; обѣ жидкости должны быть разграничены одна отъ другой пористой перегородкой (рис. 691).

При помощи подобнаго аппарата можно снять точную копію предмета, для чего послѣдній нужно поставить на мѣдную пластинку *K*. Выдѣляемая изъ раствора мѣдь отлагается по всей проводящей поверхности. Копія мо-

цетъ и медалей получается вдавленную форму, гравюры, наоборотъ, даютъ выпуклый рельефъ, на подобіе печати сургуча. Вытравленная или вырѣзанная мѣдная пластинка, такая, какія употребляются при гравированіи на мѣди, даетъ металлическій слѣпокъ, отпечатлѣвающій на себѣ самыя тонкія линіи оригинала въ выпукломъ видѣ. Отпечатокъ получается настолько точный, что если его помѣстить снова въ гальванопластическій сосудъ и снять съ него вторую, уже вогнутую копію, послѣднюю нельзя будетъ отличить отъ оригинала. На практикѣ этимъ часто пользуются для того, чтобы, не дѣлая оттисковъ съ металлической гравированной пластинки непосредственно (такъ какъ такимъ образомъ нельзя сдѣлать болѣе 800 хорошихъ отпечатковъ), получить съ нея предварительно, какъ описано, негативное изображеніе и имъ воспользоваться для составленія другихъ пластинокъ, согласующихся съ оригиналомъ до мельчайшихъ подробностей. Такой способъ полученія множества точныхъ копій особенно употребителенъ въ учрежденіяхъ, заготовляющихъ цѣнныя бумаги. Подобный же способъ примѣняютъ къ деревяннымъ и другимъ гравированнымъ пластинкамъ, благодаря чему устраняется необходимость изготовленія нѣсколькихъ клише. Для того, чтобы пояснить, съ какой точностью воспроизводится оригиналъ гальванопластическимъ способомъ, какимъ ровнымъ слоемъ покрываютъ микроскопическія частицы выдѣляемаго изъ раствора металла неровности предмета, достаточно сказать, что такимъ образомъ, ведя осторожно процессъ, можно копировать весьма точно дагерротипы, въ которыхъ изображеніе получается вслѣдствіе группировки мельчайшихъ шариковъ ртути, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ болѣе скученныхъ, въ другихъ меньше.



692. Аппаратъ для гальванопластическаго серебренія.

Для нѣкоторыхъ цѣлей важно бываетъ отдѣлить отъ батареи сосудъ, въ которомъ совершается отложеніе металла и устроить къ нему лишь подводъ проволокъ отъ источника тока, производящаго разложеніе соли. Съ конца 70-хъ годовъ для доставленія тока пользуются по большей части аккумуляторами.

Форма, соединяемая съ отрицательнымъ полюсомъ батареи, гдѣ отлагается металлъ, не должна быть непремѣнно металлической; достаточно, если она обладаетъ проводящей поверхностью. Въ 1840 году Муррей первый показалъ, какимъ образомъ можно гальванизировать неметаллическіе предметы. Лучшимъ веществомъ для полученія пластичной формы является гуттаперча. Будучи размягчена въ теплой водѣ, она отпечатлѣваетъ на себѣ вполнѣ точно всѣ неровности оригинала. Для того, чтобы сдѣлать предметъ проводящимъ съ поверхности, его натираютъ порошкомъ графита или бронзовымъ порошкомъ, или, окунувъ его предварительно въ растворъ соли серебра, держатъ въ парахъ сѣрнаго эѳира, съ слабой примѣсью фосфора; въ послѣднемъ случаѣ предметъ покрывается съ поверхности тонкой

проводящей оболочкой изъ фосфорнаго серебра и другихъ веществъ. Тѣ части, которыя не должны быть металлизированы, покрываются лакомъ или воскомъ.

Многочисленныя произведенія ваятельнаго искусства копируются съ помощью гальванопластики. Нерѣдко скульптурныя работы изготовляются не изъ мрамора или литой мѣди, а въ видѣ гальванопластическихъ оттисковъ по снимку съ модели художника. Гальванопластика также является драгоцѣннымъ средствомъ для изготовленія въ нѣсколькихъ экземплярахъ гравюръ на мѣди и деревѣ и при отливкѣ шрифта, давая возможность, не вырѣзывая знаковъ на стали, изготовить мѣдную матрицу, съ помощью которой можно отлить буквы въ любомъ числѣ.

Для многихъ отраслей промышленности, съ изобрѣтеніемъ гальванопластики, открылось широкое поле дѣятельности. Возникло много учрежденій, въ которыхъ можно было бы производить различнаго рода гальванопластическія работы. Наряду съ тѣмъ появились отдѣльныя мастерскія для изготовленія деревянныхъ и мѣдныхъ пластинокъ для гравюръ и т. д.

Наиболѣе замѣчательныя ателье художественной гальванопластики находятся въ Парижѣ. Однимъ изъ самыхъ колоссальныхъ предпріятій въ этой области является близкое къ дѣйствительности воспроизведеніе памятника древняго искусства, знаменитой Трояновой колонны въ Римѣ, составленной изъ 33-хъ мраморныхъ плитъ, имѣвшей въ вышину 40 м. и украшенной тысячами различныхъ фигурокъ. Копія съ него была воспроизведена на заводѣ Удри, въ Отейлѣ, въ окрестностяхъ Парижа.

Гальванизированіе. Задача гальванопластики состоитъ собственно въ томъ, чтобы по даннымъ формамъ получить новыя такія же самостоятельныя формы изъ какого-нибудь металла, напримѣръ, изъ мѣди; подъ гальванизированіемъ же разумѣютъ процессъ покрыванія одного металла съ поверхности слоемъ другого, особенно неблагородныхъ металловъ благородными.

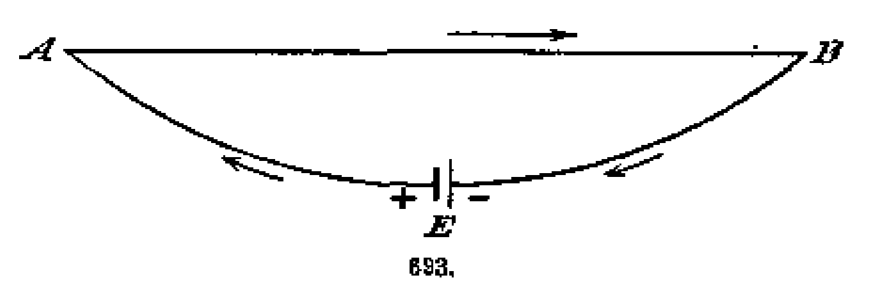
Производство опыта надъ золоченіемъ, серебреніемъ и т. д. ничѣмъ существенно не отличается отъ описаннаго. Батарея помѣщена здѣсь отдѣльно. Металлическій предметъ, который желаютъ посеребрить или вызолотить, помѣщается на катодѣ, т.-е. на томъ полюсѣ, который соединенъ съ отрицательнымъ полюсомъ батареи; противъ него, на анодѣ, помѣщается брусокъ золота, серебра и т. п. Для ванны пользуются растворомъ синеродистаго серебра или золота.

Способъ позолоты и серебренія предметовъ обихода гальваническимъ путемъ получилъ широкое распространеніе и важенъ, не только тѣмъ что позволяетъ соблюдать экономію въ потребленіи благородныхъ металловъ по сравненію со способомъ выжиганія, но и потому еще, что вредное вліяніе выдѣленія ртутныхъ паровъ, связанное съ послѣднимъ, здѣсь совершенно устранено. Въ Рулѣ (въ Тюрингенѣ) тремя серебряными марками серебрятъ *отъ 400—600 дюжинъ мундштуковъ, а для позолоты 12 дюжинъ пуговицъ,* діаметромъ 2,5 см., потребляютъ всего 5 гранъ золота, что можетъ быть оцѣнено въ 75 коп. Толщина поверхностнаго слоя на золоченыхъ предметахъ для низкихъ сортовъ не превышаетъ 0,0001 мм. Чтобы при этомъ не истратить нечаянно лишняго количества металла, ведя разложеніе дольше, чѣмъ слѣдуетъ, придуманы вѣсы особой конструкціи, прекращающіе автоматически дѣйствіе тока, тотчасъ вслѣдъ затѣмъ, какъ осадокъ достигаетъ извѣстной, положенной заранѣе нормы. Въ этихъ вѣсахъ предметъ, подвергаемый гальванизированію, привѣшивается къ одному плечу коромысла, на другое же плечо давитъ грузъ, равный вѣсу металла, который долженъ быть выдѣленъ изъ раствора. Какъ скоро вѣсъ осадка перейдетъ норму, коромысло вѣсовъ перекинется и прерветъ вмѣстѣ съ тѣмъ дѣйствіе тока, вызывающаго разложеніе соли серебра или золота.

Чтобы при гальванизированiи серебро и золото покрывали поверхность предмета совершенно ровнымъ слоемъ, послѣдняя должна быть тщательно вычищена и освобождена отъ жира.

Одна изъ обширнѣйшихъ работъ гальванизированiя была выполнена въ Россiи, въ Ревельской гальванопластической мастерской герцога Лейхтенбергскаго. Требовалось вызолотить бронзовые капители и фундаменты, вышиною въ 1 м., для колоннъ Исаакiевскаго собора въ С.-Петербургѣ. Общiй вѣсъ ихъ достигалъ 28,000 кгр. Сосуды для золоченiя должны были вмѣщать до 5700 литровъ жидкой позолоты. Каждый день приготовлялся концентрированный растворъ цiанистаго калiя, содержащiй отъ 10 до 15 кгр. чистаго золота. За время всей работы, продолжавшейся три года, золота было потрачено болѣе 280 кгр.

Еще болѣе потребляется благороднаго металла въ мастерскихъ для гальваническаго серебренiя, напримѣръ К р и с т о ф л я и К° въ Парижѣ, С.-Дэни и Карлсруэ, или Э л к и н г т о н а въ Лондонѣ, гдѣ исполняются оптовые заказы на серебренiе столовой утвари. Болѣе подробныя свѣдѣнiя относительно золоченiя, серебренiя, платинированiя, никкелированiя и оловянизированiя читатель найдетъ въ третьемъ томѣ настоящаго сочиненiя, посвященномъ вообще практическому примѣненiю электричества. Тамъ же разобраны вопросы, касающiеся другихъ отраслей практической электрохимiи, получившiе за послѣднее время широкое развитiе. Сюда относятся: полученiе металла электролитическимъ путемъ, освобожденiе его отъ примѣсей, полученiе магнiя, а также алюминiя изъ расплавленныхъ магнезiальныхъ и алюминiевыхъ соединенiй; приложенiе электрохимiи для бѣленiя и окраски тканей, для чистки водяныхъ бассейновъ и т. д.



693.

Тепловыя и свѣтовыя дѣйствiя гальваническаго тока.

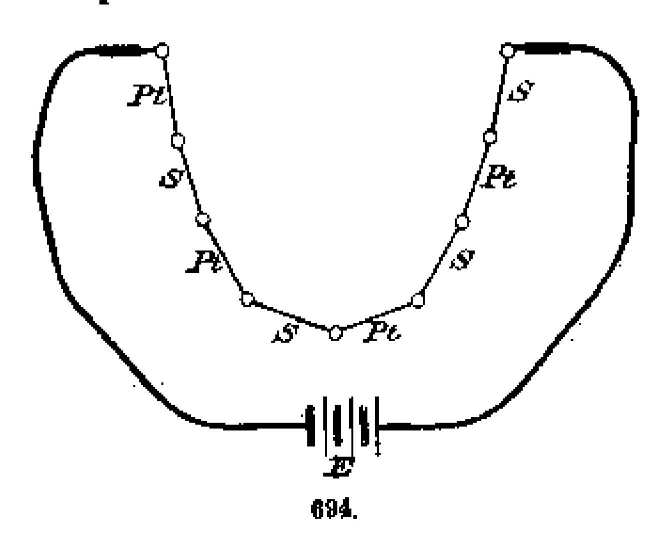
Въ проводникѣ, по которому проходитъ токъ въ направленiи отъ A къ B, между названными пунктами должна существовать извѣстная разность потенцiаловъ, чѣмъ и обусловливается теченiе электричества. Преодолѣвая сопротивленiе при прохожденiи черезъ проводникъ, токъ совершаетъ работу, которая по принципу сохраненiя энергiи должна обнаружиться явно въ видѣ той или иной формы энергiи. И дѣйствительно, совершаемая токомъ работа сказывается явно въ видѣ нагрѣванiя проводника; послѣднее тѣмъ выше, чѣмъ больше сопротивленiе цѣпи. Подобно тому, какъ работа при свободномъ паденiи тѣла съ высоты измѣряется произведенiемъ изъ вѣса тѣла на высоту паденiя, также работа гальваническаго тока за извѣстный промежутокъ времени t измѣряется произведенiемъ изъ количества протекшаго за это время электричества Q на разность потенцiаловъ E

$$A = QE;$$

количество же электричества Q равно произведенiю it, изъ силы тока i на время дѣйствiя его t, и далѣе, такъ какъ по закону Ома E равно произведенiю iw, изъ силы тока на сопротивленiе между разсматриваемыми точками w, то работа тока можетъ быть выражена также равенствомъ $A = i^2wt$. А такъ какъ затрата работы, какъ это мы видѣли въ ученiи о теплотѣ, сопровождается выдѣленiемъ эквивалентнаго числа тепловыхъ единицъ (малая или граммкалорiя эквивалентна 0,425 килограмметра), то нагрѣванiе проводника при прохожденiи по немъ тока должно быть пропорцiонально про-

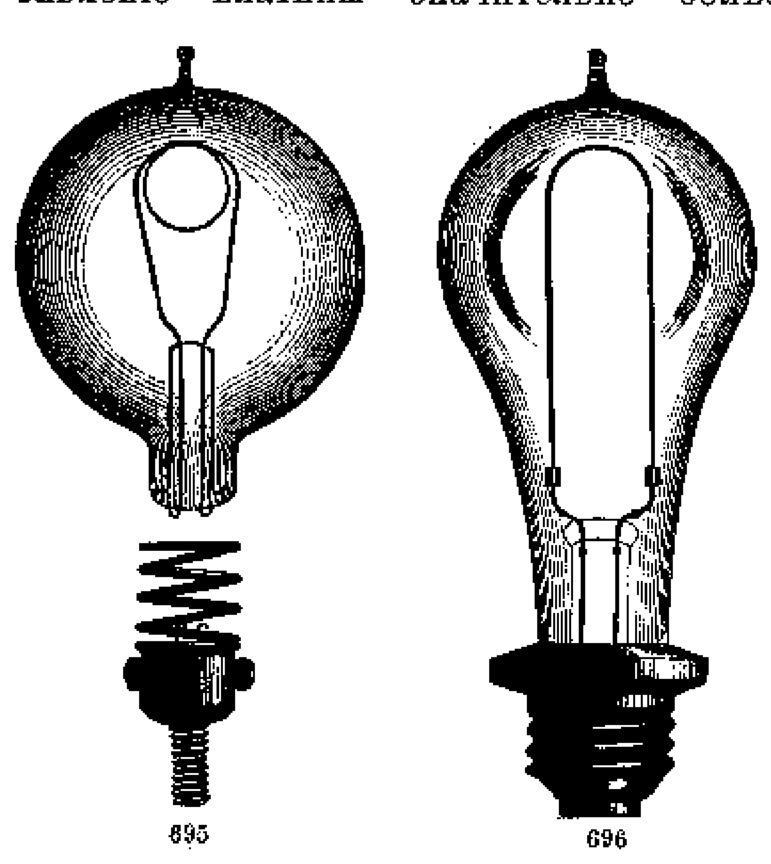
изведенію изъ квадрата силы тока на сопротивленіе проводника да на время дѣйствія тока.

Жидкіе проводники и батарея равнымъ образомъ нагрѣваются токомъ по тому же закону, но только часть теплоты при этомъ тратится на производство работы химическаго разложенія. Этотъ важный законъ, выведенный теоретически Вильямомъ Томсономъ и установленный экспериментально опытами съ одной стороны Ленца, съ другой Джоуля, называется закономъ теплового дѣйствія тока или закономъ Джоуля и Ленца. Джоуль пропускалъ токъ, силу котораго можно было измѣрить, по проволокѣ, погруженной въ водяной калориметръ; наблюдая повышеніе температуры, онъ могъ опредѣлить количество выдѣляемаго токомъ тепла.



694.

При примѣненіи одной и той же проволоки количество теплоты, выдѣляемой за опредѣленный промежутокъ времени, оказывалось всегда пропорціональнымъ квадрату силы тока; при употребленіи различныхъ проволокъ, но при одной и той же силѣ тока, оно было пропорціонально сопротивленію. Толстыя проволоки токомъ той же силы нагрѣваются слабѣе тонкихъ проволокъ изъ одинакаго матеріала. Ранѣе мы имѣли случай замѣтить, что удѣльное сопротивленіе платины значительно болѣе удѣльнаго сопротивленія серебра. Благодаря этому въ цѣпи, составленной попеременно изъ кусочковъ платиновой и серебряной проволокъ (рис. 694), подобравъ соотвѣтственно силу тока, можно наблюдать, какъ платиновыя проволоки будутъ раскаливаться, тогда какъ серебряныя остаются темными.

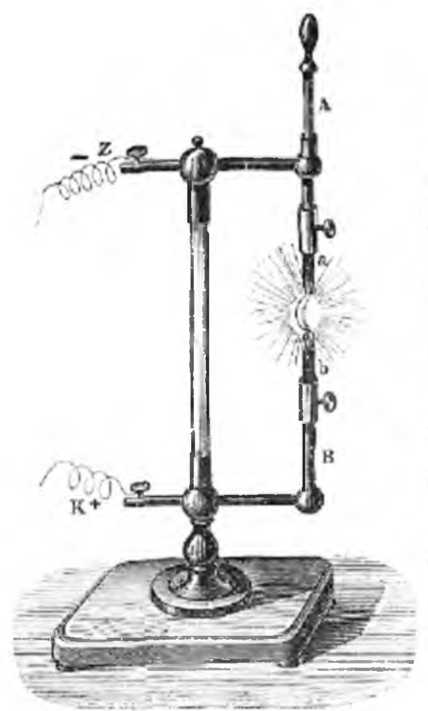


695 и 696. Лампочки накаливанія Свана и Эдисона.

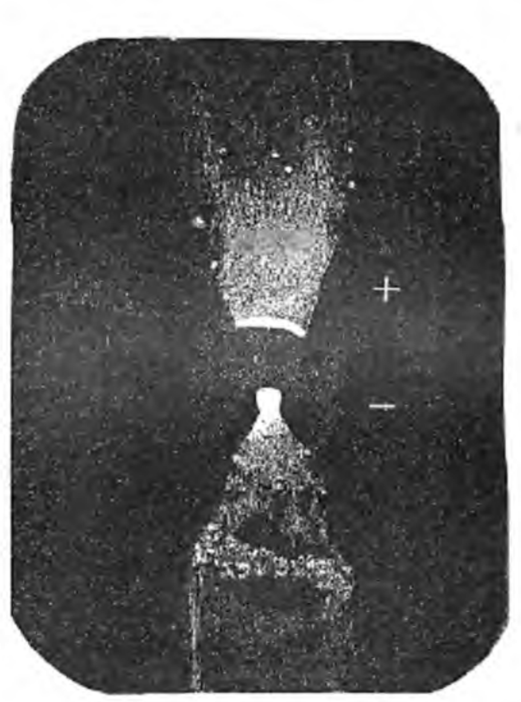
Явленіемъ раскаливанія проволоки подъ дѣйствіемъ гальваническаго тока не преминули воспользоваться на практикѣ для самыхъ различныхъ цѣлей: въ техникѣ миннаго дѣла имъ пользуются для воспламененія взрывчатыхъ веществъ, въ медицинѣ на немъ основывается гальванокаустика (прижиганіе гальваническимъ токомъ), въ домашнемъ обиходѣ имъ пользуются для устройства грѣлокъ, самое же важнѣйшее его примѣненіе: это получившее за послѣднее время столь широкое распространеніе освѣщеніе электрическими лампочками накаливанія. Въ устройствѣ послѣднихъ главную роль играетъ угольная нить (рис. 695 и 696), накаливаемая токомъ; для предохраненія ея отъ сгоранія и потери тепла проводимостью, она окружается стеклянным колпакомъ, изъ котораго удаляютъ затѣмъ воздухъ, выкачивая его ртутнымъ насосомъ.

Освѣщеніе дуговыми лампами также основано на тепловомъ дѣйствіи тока. Впервые явленіе электрической дуги удалось наблюдать англійскому физику Гемфри Дэви въ 1821 году (еще раньше проф. Петровъ); онъ приводилъ въ

соприкосновеніе два заостренныхъ угля, которые были соединены съ крайними полюсами батареи, состоящей изъ 2000 элементовъ (рис. 697). Благодаря огромному выдѣленію тепла угли раскаливались до-красна; когда же Дэви удалилъ концы ихъ другъ отъ друга, токъ продолжалъ передаваться черезъ раскаленный воздухъ отъ одного угля къ другому, распространяя ослѣпительный свѣтъ, названный свѣтомъ Дэви или Вольтовой дугой. Сила свѣта такъ велика, что на него можно смотрѣть не иначе, какъ черезъ цвѣтное стекло. Сама дуга свѣтится сравнительно слабо голубоватымъ пламенемъ, но концы углей раскаляются до-бѣла, причемъ положительный (т.-е. соединенный съ положительнымъ полюсомъ батареи) уголь издаетъ свѣтъ значительно большей



697. Приспособленіе для образованія Вольтовой дуги.



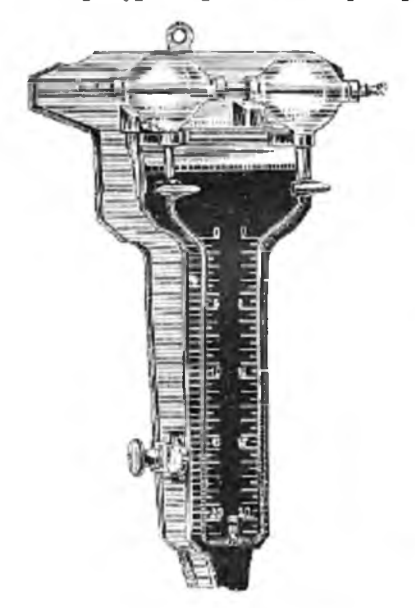
698.
Раскаленные концы углей Вольтовой дуги.

яркости, нежели отрицательный. Раскаленныя частицы угля, отдѣлившись отъ основы, летятъ въ направленіи преимущественно отъ положительнаго угля къ отрицательному, покрывая поверхность послѣдняго слоемъ мелкихъ шариковъ (рис 698). При этомъ положительный конецъ пріобрѣтаетъ постепенно форму кратера; конецъ же отрицательнаго уголька еще сильнѣе заостряется. Явленіе это можно наблюдать объективно, проектируя дугу на бѣлый экранъ. Вольтова дуга обладаетъ самой высокой изъ тѣхъ температуръ, какихъ мы можемъ достигнуть. Всѣ тѣла, за исключеніемъ углерода, въ ней плавятся и переходятъ въ парообразное состояніе. На этомъ основанъ электрическій способъ плавленія и спайки металловъ; тѣмъ же принципомъ пользовались Муассанъ въ Парижѣ и позднѣе итальянецъ Квирино Майорана для искусственнаго полученія брилліантовъ изъ углерода, чего имъ удалось достигнуть, пользуясь особой электрической печью и примѣняя огромное давленіе, но при этомъ получались кристаллы крошечныхъ размѣровъ.

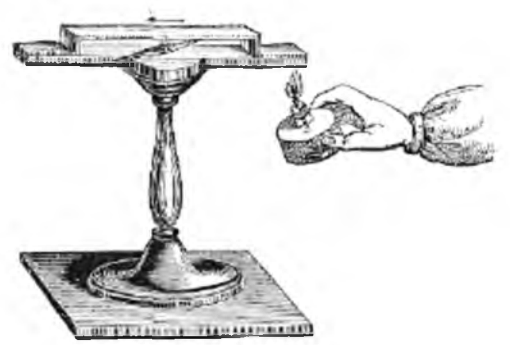
Такъ какъ угли, между которыми образуется дуга, мало-по-малу сгораютъ, причемъ положительный сгораетъ почти вдвое скорѣе отрицательнаго,

пришлось придумать автоматическое приспособленіе, которое приближало бы одинъ уголь къ другому, оставляя разстояніе между ними все время постояннымъ. Дальнѣйшія подробности касательно этого вопроса можно найти въ 3-мъ томѣ настоящаго сочиненія.

Явленіе Пельтье. Когда проводникъ составленъ изъ двухъ спаянныхъ между собою разнородныхъ металлическихъ частей — положимъ, изъ висмута и сюрьмы — то, какъ это впервые удалось обнаружить Пельтье въ 1834 году, кромѣ выдѣленія Джоулева тепла, которое пропорціонально квадрату силы тока и не зависитъ отъ направленія послѣдняго, въ мѣстахъ спая является нагрѣваніе или охлажденіе въ зависимости отъ того, идетъ ли токъ отъ сюрьмы къ висмуту или въ обратномъ направленіи; измѣненіе температуры при этомъ пропорціонально силѣ тока. Это явленіе названо явленіемъ Пельтье. Чтобы убѣдиться въ существованіи указаннаго обстоятельства, эффектъ котораго ослабляется значительно выдѣленіемъ Джоулева тепла, стараются вліяніе послѣдняго довести до минимума, употребляя толстыя и короткія проволоки, сопротивленіе которыхъ, слѣдовательно, невелико.



699. Приборъ для демонстрированія явленія Пельтье.



700. Термоэлементъ съ магнитной стрѣлкой.

Рис. 699 представляетъ аппаратъ для демонстраціи явленія Пельтье. Къ сюрьмяному стерженьку припаяны съ обѣихъ сторонъ висмутовые, и самыя мѣста спайки заключены въ стеклянные баллоны воздушнаго термометра, устроеннаго, какъ показываетъ рисунокъ, такъ, что Джоулево тепло на него вліянія имѣть не можетъ. Нагрѣваніе же и охлажденіе, вызываемыя явленіемъ Пельтье, заставляютъ перемѣщаться жидкость въ извѣстномъ направленіи. При коммутированіи тока ртуть быстро, какъ бы подъ дѣйствіемъ толчка, передвигается въ обратномъ направленіи.

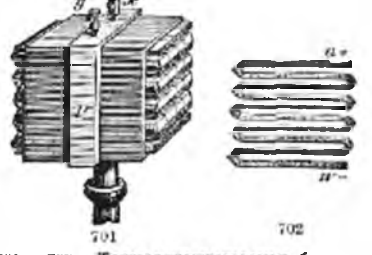
Ленцъ придумалъ весьма изящный опытъ, демонстрирующій охлажденіе въ явленіи Пельтье. Окруживъ стерженекъ, составленный изъ висмута и сюрьмы тающимъ снѣгомъ, онъ пробуравливалъ въ мѣстѣ спая небольшую выемку, куда наливалъ воду. Пропуская токъ по направленію отъ висмута къ сюрьмѣ, ему удалось не только заморозить воду, но даже достигнуть пониженія температуры образованнаго такимъ образомъ льда до -3° C.

Термоэлектрическій токъ. Въ замкнутой цѣпи, составленной изъ двухъ неоднородныхъ металловъ, является нѣкоторая электродвижущая сила, если въ мѣстахъ соприкосновенія различныхъ металловъ температура не одинакова. Это открытіе было сдѣлано Зеебекомъ въ 1821 году.

Возбуждаемый въ цѣпи токъ имѣетъ всегда опредѣленное направленіе, и сила его въ извѣстныхъ предѣлахъ пропорціональна разности температуры въ томъ и другомъ мѣстѣ соприкосновенія. Сила тока въ этомъ опытѣ можетъ быть измѣрена по отклоненію магнитной стрѣлки. Токъ, возникающій въ неоднородной замкнутой цѣпи металлическихъ проводниковъ при названныхъ условіяхъ, т.-е. когда какимъ-либо способомъ въ мѣстахъ соединенія разнородныхъ проводниковъ достигается извѣстная разность температуръ, называется **термоэлектрическимъ токомъ**, или **термотокомъ**, а всякая комбинація металловъ, обусловливающая возникновенія термоэлектрическаго тока, — **термоэлементомъ**.

Явленіе Пельтье и явленіе возникновенія термоэлектрическаго тока являются одно слѣдствіемъ другого, давая такимъ образомъ указаніе на обратимость физическихъ процессовъ.

Направленіе термоэлектрическаго тока зависитъ отъ природы металловъ, входящихъ въ составъ термоэлемента. Опытныя изслѣдованія надъ термоэлектрическимъ взаимодѣйствіемъ между разнородными металлами показали, что всѣ они могутъ быть расположены въ рядъ, обладающій слѣдующимъ свойствомъ: при соединеніи двухъ какихъ-либо металловъ въ этомъ ряду въ термоэлементъ токъ, въ мѣстѣ соединенія, обладающемъ болѣе высокой температурой, потечетъ отъ одного металла къ другому, направляясь къ тому, который поставленъ выше (въ термоэлектр. ряду). Этотъ металлъ относительно другого считается положительнымъ, если дѣло идетъ о термоэлектрическомъ соотношеніи. Въ металлическомъ прямоугольникѣ, образуемомъ спаемъ висмутовой и сюрьмяной пластинокъ (рис. 700), если, положимъ, спай *a* поддерживается при постоянной температурѣ, а спай *b* нагрѣвается, токъ потечетъ въ направленіи, указываемомъ стрѣлкою. По термоэлектрическимъ свойствамъ въ этой парѣ висмутъ оказывается отрицательнымъ металломъ, а сюрьма положительнымъ.

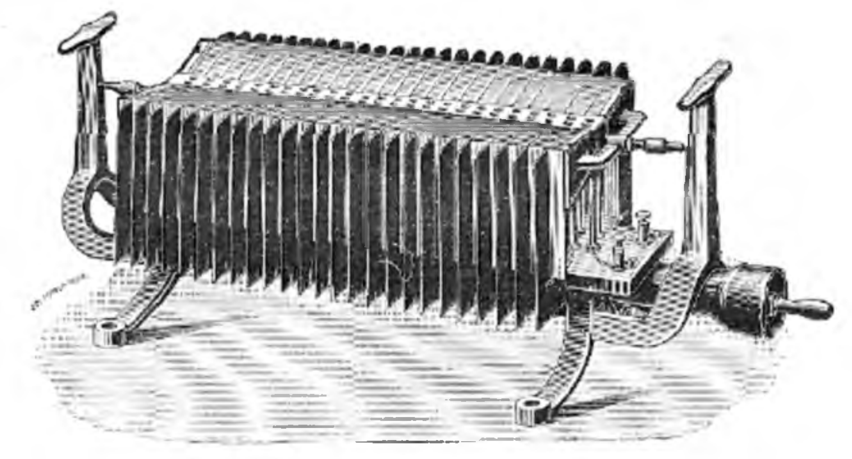


701 и 702. Термоэлектрическая батарея Нобили.

Многіе ученые поставили себѣ задачей найти расположеніе элементовъ термоэлектрическаго ряда, но предложенныя имъ группировки не вполнѣ согласуются между собою, потому что различіе во внутренней структурѣ и примѣсь посторонняго вещества оказываютъ здѣсь огромное вліяніе. Наиболѣе часто встрѣчающіеся металлы **Ганкель** располагаетъ въ слѣдующемъ порядкѣ: + сюрьма, желѣзо, серебро, цинкъ, свинецъ, алюминій, олово, мѣдь, золото, платина, ртуть, нейзильберъ, висмутъ —.

Величина электродвижущей силы термоэлемента вообще мала по сравненію съ гальваническими элементами; такъ, напримѣръ, электродвижущая сила термоэлектрическаго элемента, составленнаго изъ висмута и сюрьмы, составляетъ всего 0,01 электродвижущей силы элемента Даніэля. Вводя термоэлектрическіе элементы послѣдовательно другъ за другомъ, мы получимъ батарею съ электродвижущей силой, равной суммѣ электродвижущихъ силъ отдѣльныхъ элементовъ. Для этой цѣли обыкновенно спаиваютъ между собою попеременно бруски различныхъ металловъ, положимъ, висмута и сюрьмы, располагая ихъ зигзагообразно; затѣмъ, составивъ нѣсколько такихъ слоевъ, помѣщаютъ ихъ параллельно одинъ подъ другимъ, предварительно тщательно изолировавъ. Послѣ этого соединяютъ ихъ въ одну батарею, такимъ образомъ, что всѣ нечетные спаи оказываются обращенными въ одну сторону, а четные въ другую. На рисункахъ 701 и 702 представлена самая распространенная конструкція термоэлектрической батареи **Нобили**. На

рисункѣ 702 представленъ только одинъ плоскій слой (столбикъ), а рисунокъ 701 изображаетъ всю батарею, которой придана форма параллелепипеда съ квадратнымъ сѣченіемъ. Обѣ боковыя поверхности, куда обращены спаи термоэлементовъ, зачерняются сажей. Первый висмутовый и послѣдній сюрмяной стерженекъ находятся соотвѣтственно въ металлическомъ сообщеніи съ зажимными винтами *x* и *y*. *Къ нимъ могутъ быть присоединены провода отъ* гальванометра или другого измѣрителя тока. Термоэлектрической батареей чаще всего пользуются для изслѣдованія теплового излученія. При этомъ съ одной стороны стараются поддерживать температуру постоянной, другую же сторону подвергаютъ дѣйствію лучей. Примѣненіе термоэлемента оказываетъ особенную услугу въ тѣхъ случаяхъ, когда дѣло касается измѣренія температуры въ небольшомъ и трудно доступномъ пространствѣ. Въ *послѣднее время вмѣсто комбинаціи висмутъ—сюрьма* употребляютъ во многихъ случаяхъ комбинацію висмутъ и сплавъ цинка съ сюрь-



703. Термоэлектрическая батарея Гюльхера.

мой. Такой элементъ обладаетъ почти втрое большей электродвижущей силой. Электродвижущую силу, еще вдвое превосходящую электродвижущую силу этого послѣдняго элемента, можно получить, примѣняя дорого стоющую и требующую большого труда при изготовленіи комбинацію теллуръ—висмутъ.

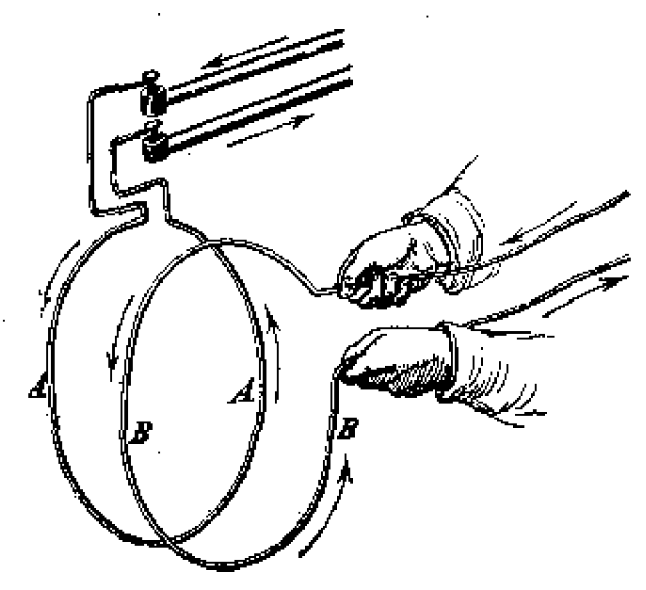
Съ помощью весьма чувствительной батареи висмутъ — сплавъ цинка съ сюрьмой д-ръ Фрёлихъ подвергъ измѣренію тепловую энергію солнца; *результаты его работъ столь же важны для астрономическихъ цѣлей, сколько* вообще для ознакомленія съ тѣми метеорологическими процессами, которые совершаются въ предѣлахъ земной атмосферы. Въ опытныхъ изслѣдованіяхъ касательно количества теплоты, излучаемой солнцемъ, самое важное—устранить, по возможности, различныя атмосферныя вліянія. Для этой цѣли измѣряютъ тепловое дѣйствіе лучей подъ различными углами высоты солнца, такъ что получаемыя въ результатѣ данныя опредѣляютъ количество теплоты, которое *доходило бы до насъ отъ солнца въ томъ случаѣ, если бы атмосферы* вовсе не было. Оказалось, что солнце излучаетъ теплоту не всегда въ одинаковой мѣрѣ, но этотъ процессъ, какъ можно бы заключить заранѣе изъ наблюденій надъ явленіями извержения и другими метаморфозами на поверхности солнца, подверженъ измѣненіямъ разнаго рода, находящимся въ связи съ возникновеніемъ солнечныхъ пятенъ. Повидимому, появленіе солнечныхъ пятенъ влечетъ за собой усиленіе теплового излученія. Во всѣхъ

подобнаго рода изслѣдованіяхъ пользованіе термоэлектрической батареей оказывается весьма удобнымъ средствомъ.

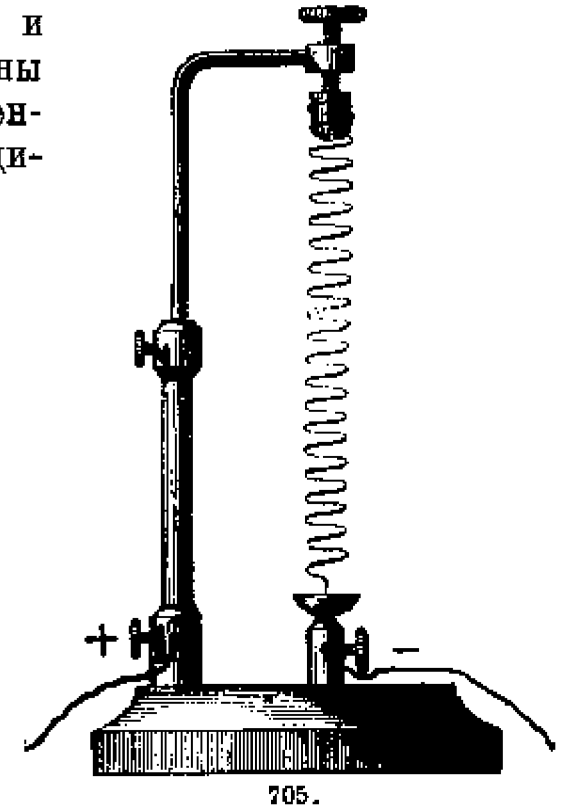
Для измѣренія высокихъ температуръ въ настоящее время часто пользуются термоэлементомъ Лешателье, составленнымъ изъ платины и сплава платины съ родіемъ.

Термоэлементъ, какъ источникъ тока, представляетъ то удобство, что здѣсь тепловая энергія переходитъ непосредственно въ электрическую. Звѣздообразная термоэлектрическая батарея Ноэ состоитъ изъ помѣщенныхъ радіально цилиндрическихъ столбиковъ (въ батареѣ примѣненъ сплавъ висмута съ сюрьмой), къ которымъ прикасаются мѣдные штифтики, непосредственно подвергаемые дѣйствію пламени и служащіе предохраненіемъ внутреннихъ частей батареи. Извнѣ элементы окружены гнутыми пластинками, служащими одновременно и ножками и пріемниками тепловой энергіи.

Въ батареѣ Кламона элементы состоятъ изъ оловянизированнаго желѣза и сплава цинка съ сюрьмой. Всѣ они заключены въ общую цилиндрическую оправу, во внутренней части которой находится азбестовый ци-



704. Притяженіе параллельныхъ токовъ, направленныхъ въ одну сторону.



705. Примѣненіе закона Ампера.

линдръ, испещренный мелкими отверстіями; послѣдній нагрѣвается Бунзеновой горѣлкой, такъ что внутреннія части и здѣсь не подвержены непосредственному дѣйствію пламени.

Изображенная на рис. 703 термоэлектрическая батарея Гюльхера, также нагрѣваемая газомъ, состоитъ изъ 50 элементовъ, которые укрѣплены въ видѣ двухъ параллельныхъ рядовъ на общей грифельной доскѣ. Эта послѣдняя представляетъ собою верхнюю часть находящагося подъ нею резервуара для газа, снабженнаго бунзеновской входной трубкой. Каждый элементъ состоитъ изъ никкелевой трубочки, служащей отрицательнымъ электродомъ и въ то же время проводящей газъ для питанія маленькаго пламени. Съ верхнимъ концомъ этой трубочки, въ которую ввинченъ наконечникъ изъ жировика, крѣпко спаяна трубкообразная соединительная часть изъ стали, вокругъ которой расположено призматическое тѣло, вылитое изъ сплава сюрьмы и цинка и служащее положительнымъ электродомъ. Къ наружнымъ концамъ положительныхъ электродовъ припаяны мѣдныя пластинки, служащія для охлажденія, которыя въ то же время служатъ и для соединенія элементовъ, изолированныхъ другъ отъ друга азбестомъ. Термоэлектрическія батареи Гюльхера, примѣняемыя для различныхъ цѣлей, напр. для гальванопластическихъ и электролитическихъ работъ, для заряжанія маленькихъ аккумуляторовъ, приготовляются фирмой Юліуса Пинча въ Берлинѣ разнообразной величины.

Электродинамическія дѣйствія тока.

Мы видѣли (стр. 563), что соленоидъ при прохожденіи черезъ него тока дѣйствуетъ какъ магнитъ и притягивается или отталкивается отъ полюсовъ другого магнита. Легко предположить, что и два соленоида, черезъ которые проходитъ токъ, будутъ дѣйствовать другъ на друга притягательно или отталкивательно, какъ два магнита. И дѣйствительно, такое взаимодѣйствіе существуетъ не только для соленоидовъ, но вообще для всѣхъ проводниковъ, по которымъ проходятъ токи, причемъ они подчиняются законамъ, установленнымъ впервые Амперомъ въ 1820 г. какъ въ теоріи, такъ и на опытѣ. Если мы свободно подвѣсимъ проводникъ *AA* (рис. 704), согнутый въ видѣ квадрата или круга и снабженный на концахъ остріями, опущенными въ чашечки съ ртутью, и будемъ пропускать черезъ него токъ, то онъ повертывается и послѣ нѣсколькихъ маятникообразныхъ движеній устанавливается своею плоскостью перпендикулярно къ магнитному меридіану. Если мы приблизимъ затѣмъ къ нему другой кругообразный проводникъ *BB* съ токомъ, то замѣтимъ притяженіе между тѣми частями обоихъ проводниковъ, въ которыхъ токи будутъ имѣть одинаковое направленіе, и, наоборотъ, отталкиваніе въ тѣхъ частяхъ, гдѣ они направляются въ разныя стороны. Два параллельныхъ тока притягиваются или отталкиваются, смотря по тому, имѣютъ ли они одно направленіе или разныя.



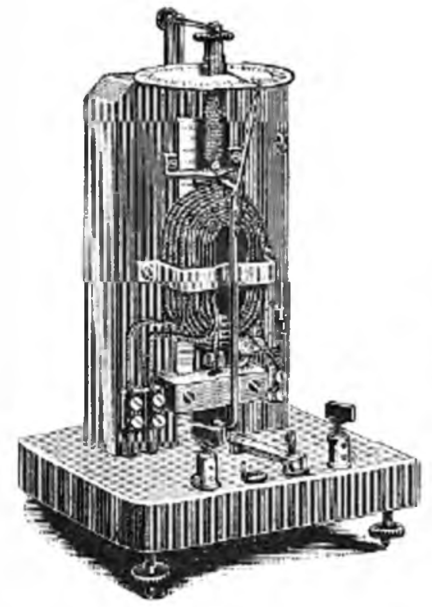
706. Вильгельмъ Веберъ.

Рис. 705 представляетъ удачное примѣненіе закона Ампера. Нижній конецъ спиральной пружины, подвѣшенной на металлическомъ штативѣ, опущенъ остріемъ въ ртуть. При прохожденіи черезъ нея тока, отдѣльные ея обороты притягиваются другъ къ другу, такъ какъ токъ въ нихъ имѣетъ одинаковое направленіе; вслѣдствіе этого спираль сокращается, остріе вытягивается изъ ртути, и токъ прерывается. Вслѣдъ затѣмъ пружина опять удлиняется, и черезъ опусканіе острія въ ртуть замыкаетъ токъ. Такимъ образомъ пружина приходитъ въ продольныя колебанія, при которыхъ токъ попеременно то замыкается, то размыкается съ образованіемъ искръ.

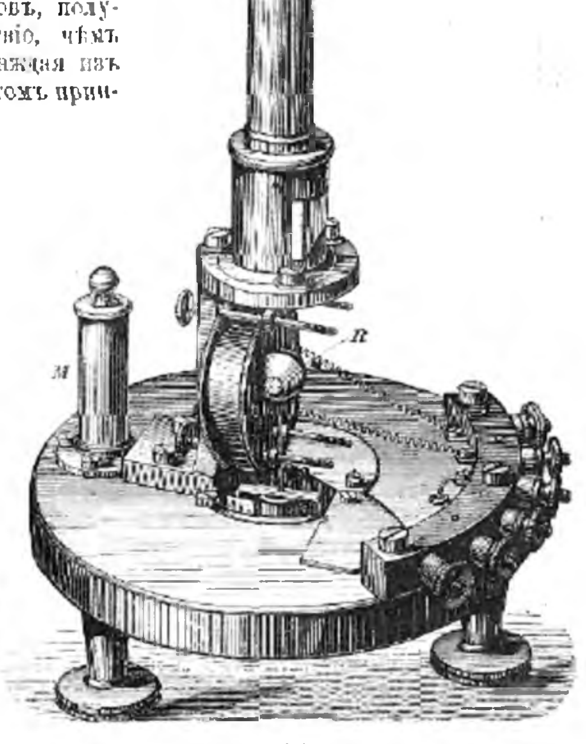
Амперъ доказалъ существованіе взаимодѣйствія не только параллельныхъ, но и произвольно перекрещенныхъ проводниковъ, черезъ которые проходитъ токъ. Такъ два перекрещенныхъ проводника притягиваются, если въ нихъ токи идутъ въ одномъ направленіи отъ или къ мѣсту скрещенія, и отталкиваются, если въ одномъ проводникѣ токъ притекаетъ къ мѣсту скрещенія, а въ другомъ утекаетъ. Вообще два проводника съ токомъ производятъ

другъ на друга такое дѣйствіе, что стремятся стать параллельно другъ къ другу, причемъ такъ, чтобы токи имѣли въ нихъ одинаковыя направленія.

Величина электродинамической силы, съ которой дѣйствуютъ другъ на друга электрическіе проводники, зависитъ отъ ихъ взаимнаго положенія, отъ ихъ разстоянія и отъ силы протекающаго въ нихъ тока; ceteris paribus она пропорціональна произведенію обѣихъ силъ тока, такъ что если токъ въ обоихъ проводникахъ одинаковъ, то она пропорціональна его квадрату. Очевидно, что электродинамическое дѣйствіе увеличивается, если вмѣсто одного оборота проволоки будетъ взята цѣлая спираль, черезъ отдѣльные обороты которой будетъ проходить токъ. Напр. спираль изъ n оборотовъ, свободно подвѣшенная внутри другой неподвижной спирали, также имѣющей n оборотовъ, получитъ въ n^2 разъ большее дѣйствіе, чѣмъ если бы обѣ спирали состояли каждая изъ одного оборота. Устроенный на этомъ принципѣ приборъ, служащій для измѣренія взаимодѣйствія токовъ, называется электродинамометромъ. Амперъ вывелъ теоретически свой основной электродинамическій законъ только для двухъ элементовъ тока, но не для замкнутыхъ токовъ. Этотъ законъ для замкнутыхъ токовъ былъ впервые выведенъ Вильгельмомъ Веберомъ и подтвержденъ на опытѣ при помощи устроеннаго имъ электродинамометра; онъ, дѣйствительно, нашелъ согласно съ основнымъ закономъ Ампера, что сила двухъ спиралей, по которымъ проходитъ одинъ и тотъ же токъ, пропорціональна квадрату силы тока.



708. Крутильный электродинамометръ для сильныхъ токовъ.



707. Электродинамометръ для слабыхъ токовъ.

Рис. 707 изображаетъ электродинамометръ Сименса и Гальске для слабыхъ токовъ, причемъ на рисункѣ выпущены одна изъ двухъ неподвижныхъ катушекъ и верхняя часть трубки для подвѣшиванія. Подвижная внутренняя катушка R такъ же, какъ и пустое пространство внутри наружной катушки, имѣютъ форму шара для того, чтобы въ каждомъ положеніи разстоя-

ніе между внутренними и наружными оборотами оставалось одинаковымъ и по возможности небольшимъ. Она снабжена зеркаломъ и подвѣшена на тонкой платиновой проволокѣ; токъ входитъ черезъ эту послѣднюю проволоку и выходитъ изъ катушки черезъ тонкую латунную или платиновую проволоку, свитую въ спираль и отведенную отъ катушки внизъ. Въ новыхъ приборахъ вмѣсто одной вертикально ведущей внизъ спирали двѣ боковыя одинаковыя, симметрично расположенныя въ горизонтальной плоскости. Верхній конецъ проволоки для подвѣшиванія идетъ къ подвижному кругу, посредствомъ котораго проволока можетъ быть закручена на любой уголъ. Затуханіе колебаній происходитъ, благодаря крылышкамъ, укрѣпленнымъ на идущемъ внизъ отъ катушки латунномъ стерженькѣ и опущенномъ въ воду, налитую въ углубленіе на нижней доскѣ. Высота поверхности воды поддерживается постоянной при помощи придѣланнаго сбоку сосуда Маріотта *М*. Введеніемъ въ ось внутренней катушки маленькаго сердечника изъ мягкаго желѣза чувствительность электродинамометра приблизительно вдвое повышается, но зато отклоненія получаются тогда несовсѣмъ пропорціональными квадратамъ силы тока.

Для измѣренія сильныхъ токовъ, особенно для измѣренія тока динамоэлектрическихъ машинъ, служитъ весьма распространенный въ техникѣ крутильный электродинамометръ Сименса и Гальске (рис. 708), который состоитъ изъ одной внутренней неподвижной и одной наружной подвижной катушки. Эта послѣдняя сдѣлана изъ толстой проволоки, имѣетъ только одинъ оборотъ въ видѣ прямоугольника и подвѣшена по способу крутильнаго гальванометра Сименса на ниткѣ и на спиральной пружинѣ, прикрѣпленной къ подвижной головкѣ, вращеніемъ которой пружина можетъ закручиваться. Уголъ крученія отсчитывается при этомъ по раздѣленному кругу посредствомъ указателя. Подлежащій измѣренію токъ вводится въ подвижную катушку черезъ ртутные контакты и протекаетъ послѣдовательно черезъ обѣ катушки. Во все время измѣренія плоскость подвижной рамки должна стоять перпендикулярно къ плоскости оборота неподвижной катушки. Это положеніе отмѣчается указателемъ, укрѣпленнымъ на подвижной рамѣ, который долженъ совпадать съ нулевой точкой на раздѣленномъ кругѣ. Указатель угла крученія при незакрученной спирали долженъ также стоять на нулѣ. Протекающій черезъ катушки токъ старается поставить подвижную раму параллельно неподвижной катушкѣ, но закручиваніемъ пружины въ обратномъ направленіи подвижная рама удерживается въ первоначальномъ положеніи; отсчитанный уголъ пропорціоналенъ квадрату силы тока.

Электродинамометръ чаще всего примѣняется для измѣренія перемѣнныхъ токовъ, т.-е. токовъ, быстро слѣдующихъ одинъ за другимъ попеременно въ противоположныхъ направленіяхъ.

Явленія индукціи.

Мы видѣли въ предыдущемъ параграфѣ, что магниты и гальваническіе токи производятъ другъ на друга электромагнитныя и электродинамическія дѣйствія, слѣдовательно, могутъ вызывать движенія. Согласно принципу обратимости, на который мы указывали въ отдѣлѣ о термоэлектрическомъ токѣ и явленіи Пельтье, мы можемъ заключить, что и въ замкнутомъ свободномъ отъ тока проводникѣ могутъ быть вызваны токи однимъ только механическимъ движеніемъ находящагося вблизи него тока или магнита. Это и происходитъ на самомъ дѣлѣ, и такіе токи называются индукціонными. Они были открыты и вполнѣ изслѣдованы Фарадеемъ въ 1830 году. Это открытіе имѣетъ громадное значеніе; оно было краеугольнымъ камнемъ въ развитіи ученія объ электричествѣ и основой электротехники. Михаилъ Фарадей, одинъ изъ величайшихъ физиковъ въ мірѣ, сынъ кузнеца, родился въ 1791 г.

въ Невингтонѣ близъ Лондона и до 21 года, подобно своему знаменитому предшественнику Веніамину Франклину, занимался переплетнымъ мастерствомъ. Въ 1813 г. онъ поступилъ помощникомъ въ химическую лабораторію Гемфри Дэви, подъ руководствомъ котораго онъ и началъ свою безпримѣрную въ исторіи физики научную дѣятельность. Въ 1824 году онъ дѣлается членомъ Королевскаго Общества, а въ 1827 преемникомъ Дэви въ завѣдываніи лабораторіей. Будучи самоучкой, онъ приступилъ безъ всякой математической подготовки, но съ яснымъ взглядомъ и наблюдательнымъ умомъ къ изученію электрическихъ и магнитныхъ явленій. Ему показалось неудовлетворительнымъ и недопустимымъ предположеніе о существованіи дѣйствія на разстояніи, которое по законамъ Ньютона и Кулона передается непосредственно черезъ пространство, и его главною цѣлью сдѣлалась замѣна силъ, дѣйствующихъ на разстояніи, силами, дѣйствующими при соприкосновеніи, благодаря которымъ дѣйствія могли бы передаваться отъ точки къ точкѣ при посредствѣ все наполняющаго и проникающаго всѣ тѣла эѳира. Исходя изъ опыта съ опилками, которыя наглядно показываютъ распредѣленіе силъ въ магнитномъ полѣ, онъ создалъ свою теорію силовыхъ линій, которая оставалась сначала непонятой и пренебрегаемой, но была признана, наконецъ, послѣ того, какъ Максвелль доказалъ ея ясность и плодотворность математической формулировкой. Работы Фарадея по электричеству изложены въ его знаменитыхъ „Experimental researches in electricity“, публикованіе которыхъ онъ началъ въ 1831 году. Они содержатъ въ себѣ, кромѣ обширныхъ изслѣдованій изъ другихъ областей науки, массу блестящихъ открытій по электричеству и магнитизму. Онъ умеръ въ 1867 г.



709. Михаилъ Фарадей.

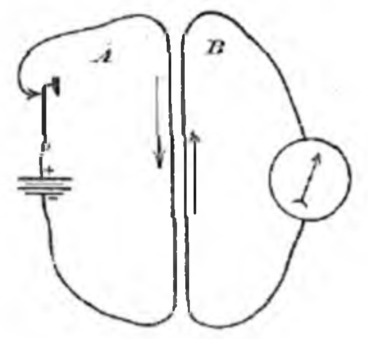
Основные опыты Фарадея заключаются въ слѣдующемъ:

Представимъ себѣ двѣ электрическихъ цѣпи (рис. 710), изъ которыхъ одна A, которая, положимъ, будетъ называться первичной, соединена съ батареей K, снабженной выключателемъ, а другая B, вторичная, соединена съ гальванометромъ G, поставленнымъ на достаточномъ разстояніи отъ первичной цѣпи A. Опытъ показываетъ, что въ моментъ замыканія тока A, въ B индуктируется токъ, очень быстро протекающій и направленный обратно первичному току. Все остальное время, пока первичный токъ остается замкнутымъ, онъ не производитъ никакого видимаго дѣйствія на вторичную цѣпь. Но достаточно снова его разомкнуть, чтобы вызвать во вторичной цѣпи вто-

рой мгновенный индукціонный токъ, который теперь уже явится въ томъ же направленіи, какъ и первичный.

Эти индукціонные токи могутъ явиться только подъ дѣйствіемъ электродвигательной силы, которая вызывается во вторичной цѣпи замыканіемъ и размыканіемъ тока первичнаго. Равнымъ образомъ всякая перемѣна въ силѣ тока A вызываетъ электродвигательную силу въ B.

Если сила тока въ A увеличивается, то въ B индуктируется электродвигательная сила въ противоположномъ направленіи, сравнительно съ направленіемъ этого тока; если же въ A сила тока уменьшается, то электродвигательная сила въ B является въ томъ же направленіи, какъ и въ A. Индукціонныя дѣйствія являются тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе лежатъ другъ къ другу эти цѣпи, и они дѣлаются особенно сильными, если проводникамъ придать форму спиралей, которыя могутъ быть вдвинуты одна въ другую (рис. 711). Еще большаго усиленія индукціонныхъ дѣйствій достигаютъ положеніемъ въ спирали пучковъ мягкой желѣзной проволоки.



710. Къ доказательству индукціонныхъ токовъ.

Опытъ показываетъ далѣе, что если проводникъ A съ токомъ приближать къ проводнику B, то въ послѣднемъ опять вызывается индукціонный токъ, обратный направленію первичнаго тока, а при удаленіи A отъ B появляются въ B индукціонный токъ прямого направленія. Точно также происходитъ, если вмѣсто приближенія A къ B приближать B къ A или удалять.

При замѣнѣ первичнаго тока A магнитомъ, перемѣщенія B относительно этого магнита производятъ тѣ же индукціонныя дѣйствія, какъ и при перемѣщеніяхъ B относительно A.


711. Принципъ индукціоннаго аппарата.

Индукцію, вызываемую гальваническимъ токомъ, называютъ **Вольтовой индукціей**, а вызываемую магнитомъ — **магнитной индукціей**, но разницы въ самой природѣ этихъ двухъ родовъ индукціи никакой не существуетъ.

Принципъ телефона. Каждая перемѣна магнитнаго состоянія внутри вторичной спирали, вызываемой, напр., приближеніемъ или удаленіемъ желѣзной пластинки относительно находящагося въ этой спирали магнита, должна возбуждать въ ней индукціонный токъ. На этомъ основано устройство и дѣйствіе телефона Белля, который можетъ быть легко изученъ при помощи прибора, построеннаго авторомъ и представленнаго на рис. 712.

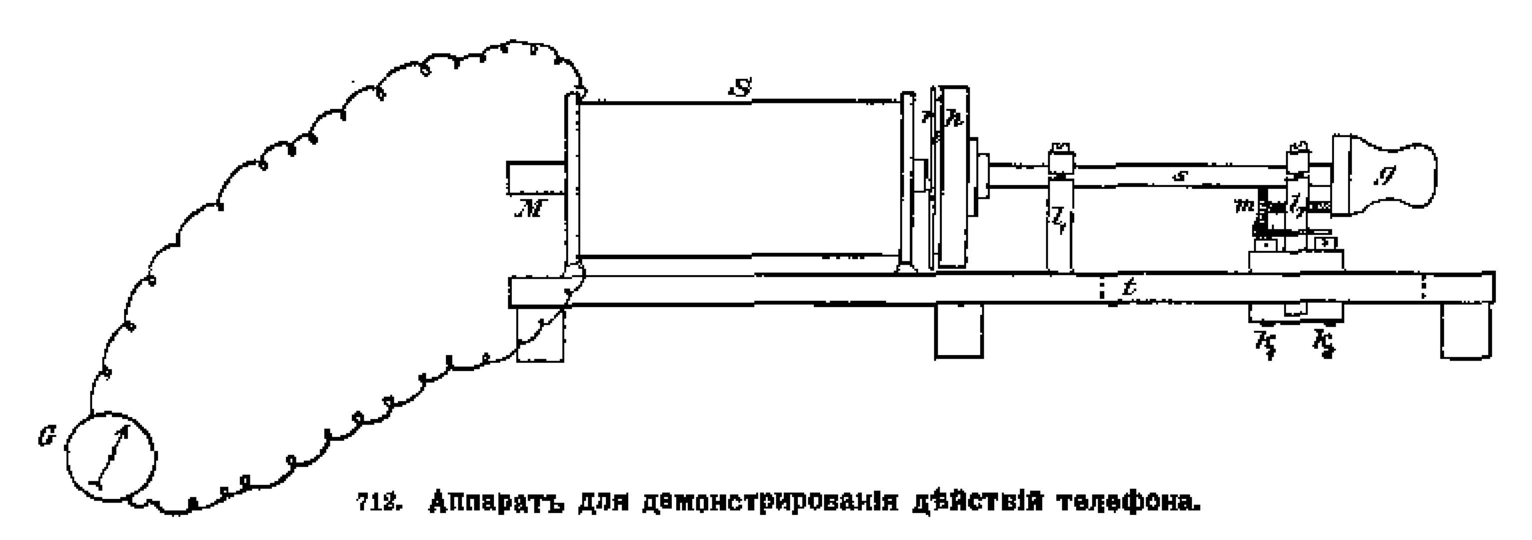
Стержень S, снабженный на одномъ концѣ рукояткой G, поддерживается двумя подставками l_1 и l_2 такимъ образомъ, что его легко и безъ большого тренія можно двигать въ продольномъ направленіи; на другомъ концѣ стержня находится деревянная пластинка h съ цилиндрическимъ углубле-

ніемъ, въ которомъ посредствомъ кольца r могутъ быть зажаты желѣзныя пластинки e разной толщины. Для измѣненія величины перемѣщенія стержня s вмѣстѣ съ его частями подстановка l_2 можетъ передвигаться въ выемкѣ на столѣ t и закрѣпляться, гдѣ угодно, зажимами k_1 и k_2; кромѣ того, для болѣе тонкой установки служитъ проходящій черезъ нее, снабженный барабаномъ, микрометрическій винтъ m.

Противъ желѣзной пластинки находится катушка S, въ отверстіи которой прочно укрѣпленъ сильный магнитъ. Если соединить концы спирали съ гальванометромъ G, то, при каждомъ приближеніи и удаленіи желѣзной пластинки, въ спирали возникаетъ индукціонный токъ, сила котораго можетъ быть измѣрена величиною отклоненія стрѣлки гальванометра. Эти индукціонные токи соотвѣтствуютъ индукціоннымъ токамъ, вызываемымъ въ телефонѣ колебаніями мембраны.

Телефонъ былъ уже описанъ въ другомъ мѣстѣ (стр. 294).

Законъ Ленца. Направленіе индуктированнаго тока опредѣляется слѣдующимъ общимъ закономъ Ленца: при перемѣщеніи проводника въ магнитномъ полѣ, происходящемъ отъ тока или отъ магнита, въ немъ вызывается



712. Аппаратъ для демонстрированія дѣйствія телефона.

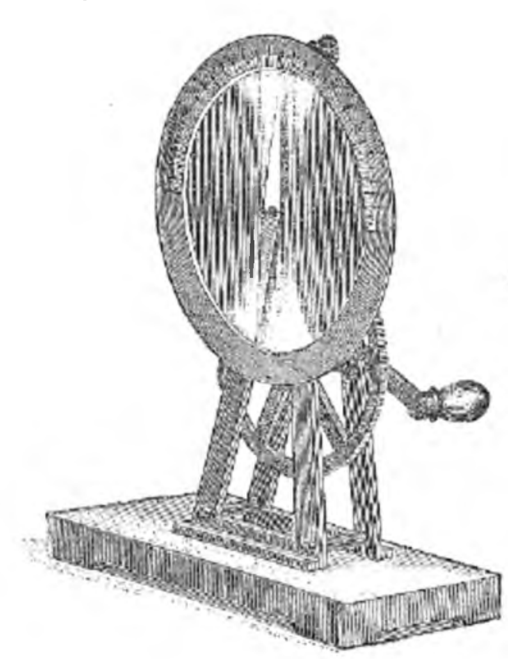
токъ такого направленія, что электродинамическое или электромагнитное взаимодѣйствіе между этимъ индуктированнымъ токомъ и индуктирующимъ токомъ или магнитомъ противодѣйствуетъ самому перемѣщенію.

Отсюда вытекаетъ слѣдующее удобное, данное Фарадеемъ, правило для опредѣленія направленія тока, индуктированнаго въ проводникѣ при перемѣщеніи его въ магнитномъ полѣ: если представить себя лежащимъ въ магнитномъ полѣ по направленію магнитной стрѣлки головою къ сѣверному полюсу и смотрящимъ по направленію, въ которомъ двигается проводникъ, то индуктированный токъ въ проводникѣ течетъ всегда слѣва направо.

По закону Ампера два тока одного направленія притягиваются, два тока обратнаго направленія отталкиваются. Изъ этого слѣдуетъ, что намъ приходится преодолѣвать отталкиваніе при приближеніи вторичнаго тока къ первичному, и притяженіе при его удаленіи; слѣдовательно, для возбужденія индукціонныхъ токовъ при помощи движенія нужна затрата извѣстной работы, что, дѣйствительно, и обнаруживается видимымъ образомъ при прекращеніи индукціоннаго тока въ выдѣленіи теплоты въ этомъ проводникѣ, которая эквивалентна затраченной работѣ.

Индукція въ тѣлесныхъ проводникахъ. Индукціонные токи возникаютъ не только въ линейныхъ проводникахъ, но и въ массивныхъ металлическихъ тѣлахъ, если эти послѣднія двигать въ магнитномъ полѣ. Направленіе этихъ индукціонныхъ токовъ по закону Ленца таково, что они также противодѣйствуютъ движенію проводника. Изслѣдованіе открытія, сдѣланнаго сначала Гамбеемъ въ 1824 г. (позднѣе Зеебекомъ), что магнитная стрѣлка скорѣе успокоивается, если виситъ надъ мѣдной пластинкой, парал-

лельной плоскости ея качанія, чѣмъ если ея качанія происходятъ надъ непроводникомъ, привело Араго къ открытію явленій магнитизма вращенія. Если вертикальный мѣдный кругъ привести въ вращательное движеніе около горизонтальной оси посредствомъ хотя бы центробѣжной машины, то магнитная стрѣлка, помѣщенная на той же оси около мѣдной пластинки, будетъ вращаться вмѣстѣ съ ней (рис. 713). Это явленіе объясняется съ помощью закона Ленца; но настоящее его значеніе было извѣстно еще Фарадею, который дальнѣйшимъ его изслѣдованіемъ былъ приведенъ къ явленіямъ индукціи. Если магнитная стрѣлка качается вблизи мѣдной массы, то ея качанія умѣряются индукціонными токами, вызванными въ мѣдной массѣ и противодѣйствующими ея движенію.



713. Аппаратъ для доказательства магнитизма вращенія.

Этимъ явленіемъ пользуются при устройствѣ гальванометра, заставляя магнитъ качаться внутри мѣдныхъ массъ (успокоители), чтобы въ возможно короткое время успокоивать ихъ качанія.

Если подвѣсить мѣдный шаръ на закрученнойниткѣ между полюсами невозбужденнаго электромагнита, то шаръ, предоставленный самъ себѣ, приходитъ въ сильное вращательное движеніе вслѣдствіе раскручиванія нитки, но онъ тотчасъ же останавливается при возбужденіи электромагнита, такъ какъ при движеніи его въ магнитномъ полѣ въ немъ возникаютъ индукціонные токи, противодѣйствующіе движенію. Другой интересный случай успокоенія посредствомъ индукціи даетъ слѣдующій, придуманный А. фонъ Вальтенгофеномъ, аппаратъ (рис. 714). Мѣдный маятникъ, свободно качающійся между полюсами невозбужденнаго электромагнита, при возбужденіи его тотчасъ останавливается.

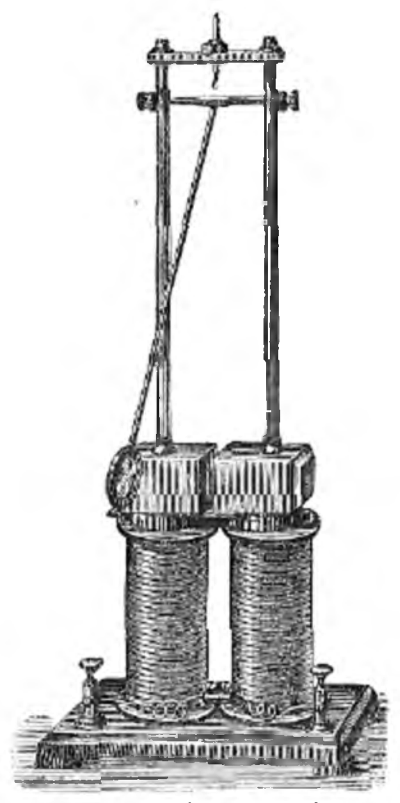
Двигая мѣдную пластинку между полюсами электромагнита въ направленіи, перпендикулярномъ къ силовымъ линіямъ, чувствуется сопротивленіе, какъ бы при движеніи въ вязкой жидкости.

Равнымъ образомъ и въ массивномъ сердечникѣ электромагнита при замыканіи тока вызываются индукціонные токи, направленные противъ возникающаго тока и замедляющіе возрастаніе намагниченія; точно также и при размыканіи тока въ немъ возникаютъ индукціонные токи одного направленія съ главнымъ токомъ, задерживающіе тѣмъ исчезновеніе магнитизма. Это такъ называемые токи Фуко, препятствующіе полному практическому приложенію электрической энергіи при работѣ электродвигателей. Поэтому обыкновенно стараются прекратить пути для токовъ Фуко и тѣмъ препятствовать ихъ возникновенію, устраивая сердечники не въ видѣ сплошныхъ массъ, а изъ пучковъ тонкой желѣзной проволоки, хорошо изолированныхъ другъ отъ друга.

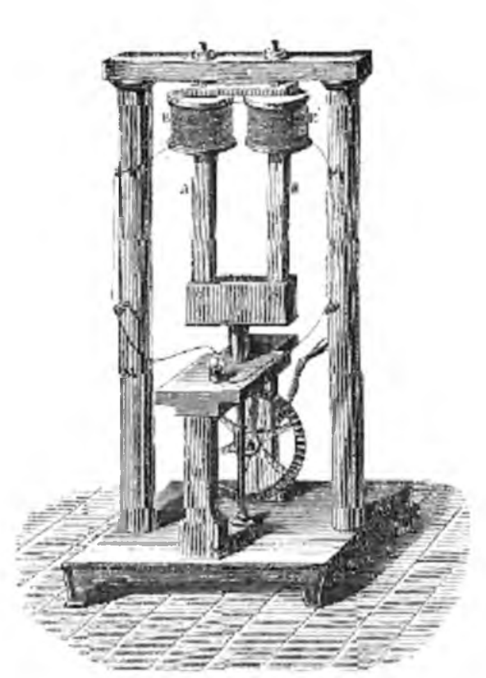
Если кусокъ металла, помѣщенный между полюсами электромагнита, привести посредствомъ механическаго приспособленія въ колебательное или вра-

щательное движенiе, то какъ это было замѣчено Джоулемъ и болѣе подробно потомъ изслѣдовано Фуко, онъ сильно нагрѣвается. Металлъ Вуда при этомъ легко можетъ быть расплавленъ.

Магнитоэлектрическая машина. Мы видѣли раньше, что гальваническiе токи могутъ быть вызваны безъ всякой батареи однимъ передвиженiемъ магнита относительно замкнутыхъ проводниковъ. На этомъ фактѣ основано устройство магнитоэлектрическихъ машинъ. Первая такая машина была устроена Пикси въ 1832 г. вскорѣ послѣ того, какъ Фарадей опубликовалъ свои открытiя. Она представлена на рис. 715. Мимо неподвижныхъ,

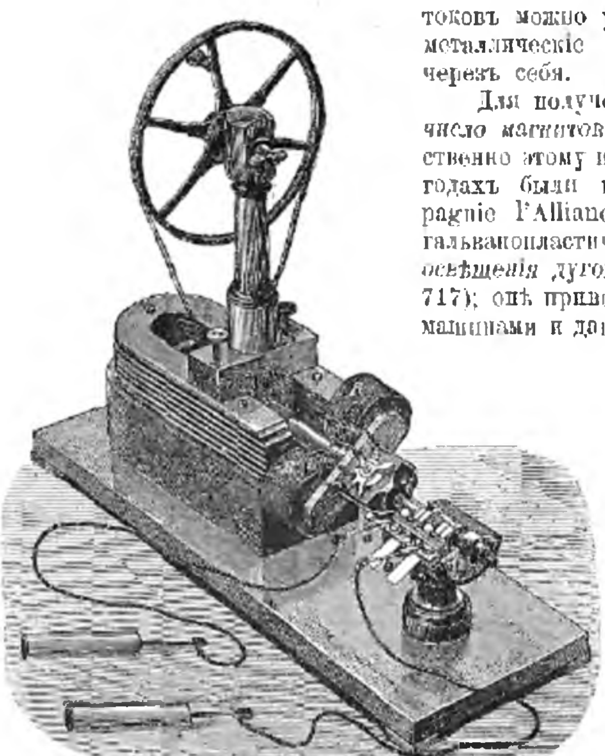



714. Аппаратъ ф. Вальтенгофена.

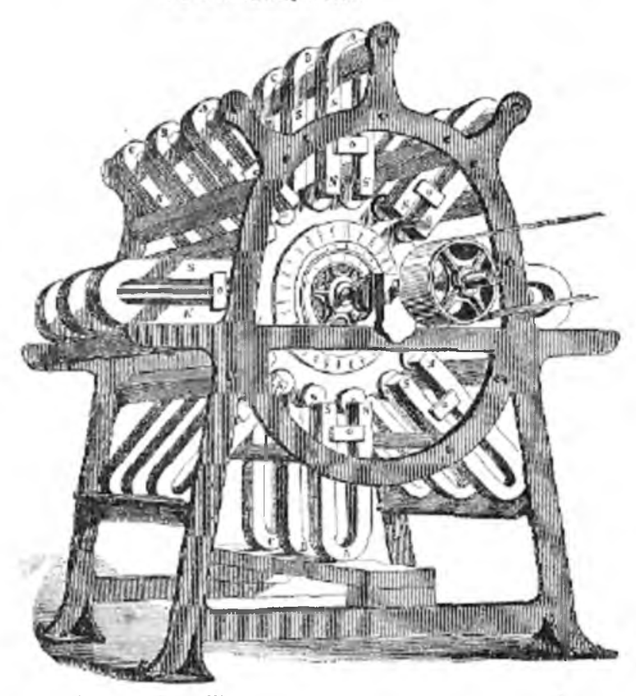

715. Магнитоэлектрическая машина Пикси.

снабженныхъ сердечниками, катушекъ E и E' двигаются посредствомъ кривошипа и зубчатой передачи лежащiе противъ нихъ полюсы подковообразнаго магнита AB, вслѣдствiе чего въ катушкахъ вызываются токи перемѣннаго направленiя, направляемые при помощи проводниковъ къ маленькому сосуду съ ртутью; они обнаруживаются въ видѣ перескакивающихъ искръ, если одну изъ этихъ проволокъ опустить въ ртуть, а другую держать близко къ поверхности. Въ улучшенныхъ машинахъ, устроенныхъ вскорѣ послѣ того Сакстономъ, Кларкомъ и особенно Штёреромъ, вмѣсто магнитовъ приводятся во вращенiе сами катушки передъ полюсами сильнаго подковообразнаго магнита, и токи противоположнаго направленiя обращаются въ токи одного направленiя посредствомъ коммутатора (рис. 716). Проволочные концы обѣихъ катушекъ R, R' ведутъ къ двумъ изолированнымъ мѣднымъ кольцамъ, укрѣпленнымъ на оси вращенiя, по которымъ скользятъ двѣ щетки, дающiя токъ во внѣшнюю цѣпь отъ точекъ a и b. Въ физiологическомъ дѣйствiи этихъ

токовъ можно убѣдиться, взявъ въ руки оба металлическіе цилиндра и пропуская токи черезъ себя.

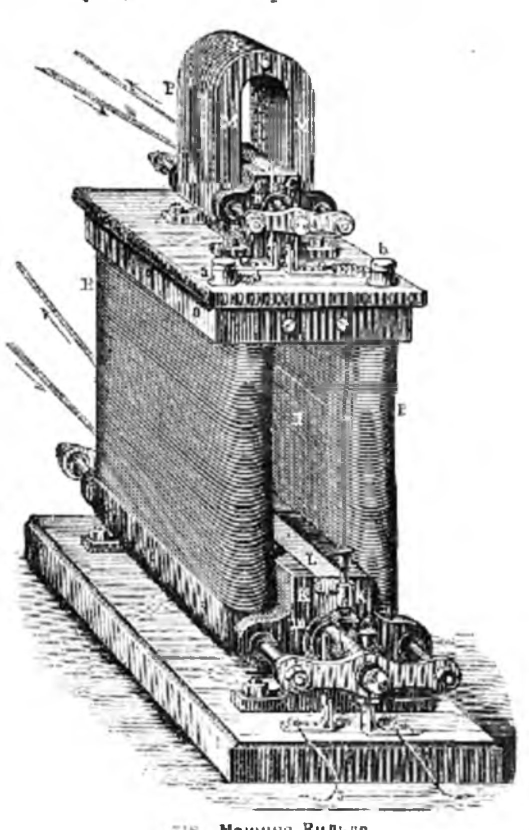

716. Магнито-электрическая машина Штерера.

Для полученія болѣе сильныхъ токовъ *число магнитовъ было увеличено, и соотвѣтственно этому и число катушекъ*; въ 50-тыхъ годахъ были построены парижской „Compagnie l'Alliance" громадныя машины для гальванопластическихъ установокъ и для *освѣщенія дуговыми лампами маяковъ* (рис. 717); онѣ приводились въ дѣйствіе паровыми машинами и давали токи значительной силы. Подобныя машины были построены также въ Англіи Гольмесомъ. Въ 1856 г. Вернеръ Сименсъ значительно усовершенствовалъ устройство якоря — такъ называемыя вращающіяся катушки съ сердечниками. Въ этомъ году онъ изобрѣлъ свой двойной Т-образный якорь (арматура Сименса), въ которомъ спирали обмотаны вокругъ сердечника по длинѣ его, такъ что ихъ обороты лежатъ параллельно его оси; этотъ якорь вращается между полюсами цѣлаго ряда сильныхъ подковообразныхъ магнитовъ. Дальнѣйшее усовершенствованіе въ этой области было сдѣлано Вильде въ Манчестерѣ, который замѣнилъ стальные магниты электромагнитомъ E (рис. 718), возбуждаемымъ меньшей машиной съ стальными магнитами M; между полюсными наконечниками KK электромагнита онъ помѣстилъ двойной Т-образный якорь Сименса. Онъ достигъ удивительныхъ результатовъ въ этой машинѣ, *превосходившей* всѣ прежнія машины. Въ концѣ того же года Вернеръ Сименсъ сдѣлалъ открытіе, наиболѣе замѣчательное *во всей его плодотворной* жизни, черезъ которое онъ


717. Машина „Alliance" для электрическаго освѣщенія.

сдѣлался основателемъ современной электротехники. Онъ установилъ принципъ **динамоэлектрическихъ машинъ** и построилъ первую динамоэлектрическую машину для взрыванія минъ, которую онъ и демонстрировалъ незадолго до Рождества 1866 г. передъ нѣсколькими выдающимися физиками. 17 января 1867 г. онъ выступилъ въ Берлинской академіи наукъ съ докладомъ „О превращеніи рабочей силы въ электрическій токъ безъ примѣненія постоянныхъ магнитовъ". Этотъ докладъ оканчивается словами: „современной техникѣ даны средства дешевымъ и удобнымъ способомъ вызывать электрическіе токи неограниченной силы повсюду, гдѣ имѣется рабочая сила. Этотъ фактъ будетъ имѣть большое значеніе во многихъ ея отрасляхъ".

Принципъ этотъ въ общихъ чертахъ слѣдующій: въ каждомъ электромагнитѣ послѣ того, какъ намагничивающій токъ пересталъ дѣйствовать, остается всегда небольшіе слѣды магнитизма, которые способны вызывать индукціонные токи, хотя бы и незначительной силы, въ катушкѣ, снабженной сердечникомъ изъ мягкаго желѣза и вращающейся между его полюсами. Если теперь эти токи направить въ электромагнитъ, то его магнитизмъ усиливается и можетъ вызвать въ вращающейся катушкѣ еще болѣе сильную индукцію. Если ихъ направить опять къ электромагниту, то они снова увеличиваютъ его магнитизмъ, слѣдствіемъ чего является появленіе еще сильнѣйшихъ индукціонныхъ токовъ въ вращающейся катушкѣ. Такимъ образомъ изъ имѣющагося на лицо весьма малаго количества магнитизма взаимодѣйствіемъ магнита и вторичной спирали могутъ быть получены токи любой силы въ зависимости отъ скорости вращенія.



718. Машина Вильде.

Нѣсколько позже Сименса англійскій физикъ **Уитстонъ** опубликовалъ тотъ же принципъ, къ которому онъ пришелъ независимо отъ Сименса. Насколько Вернеръ Сименсъ признавалъ важность своего открытія, видно изъ слѣдующаго интереснаго письма, адресованнаго имъ 4 декабря 1866 г. въ Англію къ своему брату Вильгельму и напечатаннаго докторомъ Хове въ его брошюрѣ „Обзоръ дѣятельности фирмы Сименса и Гальске ко дню 50-лѣтія ея существованія" (12 октября 1897):

„У меня явилась новая идея, которая, по всей вѣроятности, будетъ имѣть успѣхъ и принесетъ значительные результаты. Какъ ты, конечно, знаешь, Вильде взялъ патентъ въ Англіи на комбинацію магнитнаго индуктора моей конструкціи съ другимъ индукторомъ, имѣющимъ вмѣсто стальныхъ магнитовъ одинъ большой электромагнитъ. Магнитный индукторъ намагничиваетъ электромагнитъ до болѣе сильной степени, чѣмъ та, которая достигается посредствомъ стальныхъ магнитовъ. Второй индукторъ даетъ по-

этому гораздо болѣе сильные токи, чѣмъ если бы онъ имѣлъ стальные магниты. Дѣйствіе должно быть громадно, какъ это сообщено въ журналѣ Динглера.

Но теперь можно, конечно, обойтись совсѣмъ безъ магнитнаго индуктора и безъ стальныхъ магнитовъ. Для этой цѣли нужно взять электромагнитную машину, устроенную такъ, что неподвижный магнитъ представляетъ собою электромагнитъ съ постоянными полюсами, въ то время какъ токъ подвижной катушки мѣняется; если затѣмъ включить въ цѣпь маленькую батарею, которая приводила бы весь аппаратъ въ движеніе, и начать вращать машину въ противоположную сторону, то въ такомъ случаѣ токъ долженъ усилиться.



719. Вернеръ Сименсъ.

Послѣ этого можно выключить и совсѣмъ удалить батарею, ничего не измѣнивши. Другими словами, это будетъ машина Гольца, примѣненная къ электромагнитизму.

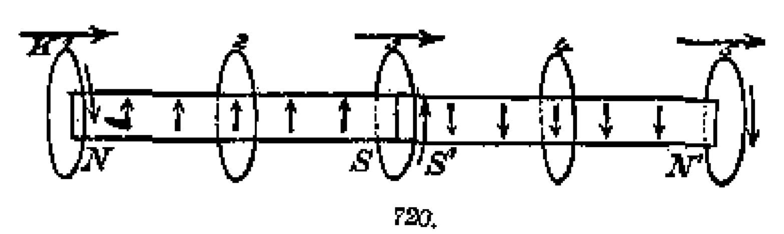
Такимъ образомъ можно при помощи однѣхъ катушекъ и мягкаго желѣза превращать энергію въ токъ, если только дать сначала толчокъ. Но этотъ толчокъ, опредѣляющій направленіе тока, можетъ быть данъ черезъ посредство остаточнаго магнитизма или при помощи стальныхъ магнитовъ, которые поддерживали бы въ сердечникѣ слабый магнитизмъ.

При надлежащей конструкціи результаты должны быть удивительные. Проектъ этотъ способенъ къ усовершенствованію и можетъ создать новую эпоху въ электромагнитизмѣ. Черезъ нѣсколько дней аппаратъ будетъ готовъ. Электричество станетъ, благодаря этому, дешевле, и явится возможность легко получать свѣтъ, гальванометаллургическіе эффекты, приводить въ движеніе маленькія электромагнитныя машины, получающія свою силу отъ большихъ и т. д."

Четверть вѣка спустя Вернеръ Сименсъ писалъ въ своихъ воспоминаніяхъ, что, „открытіе динамоэлектрической машины положило основаніе новой обширной отрасли промышленности и почти во всѣхъ областяхъ техники подѣйствовало оживляющимъ образомъ и продолжаетъ еще такъ дѣйствовать".

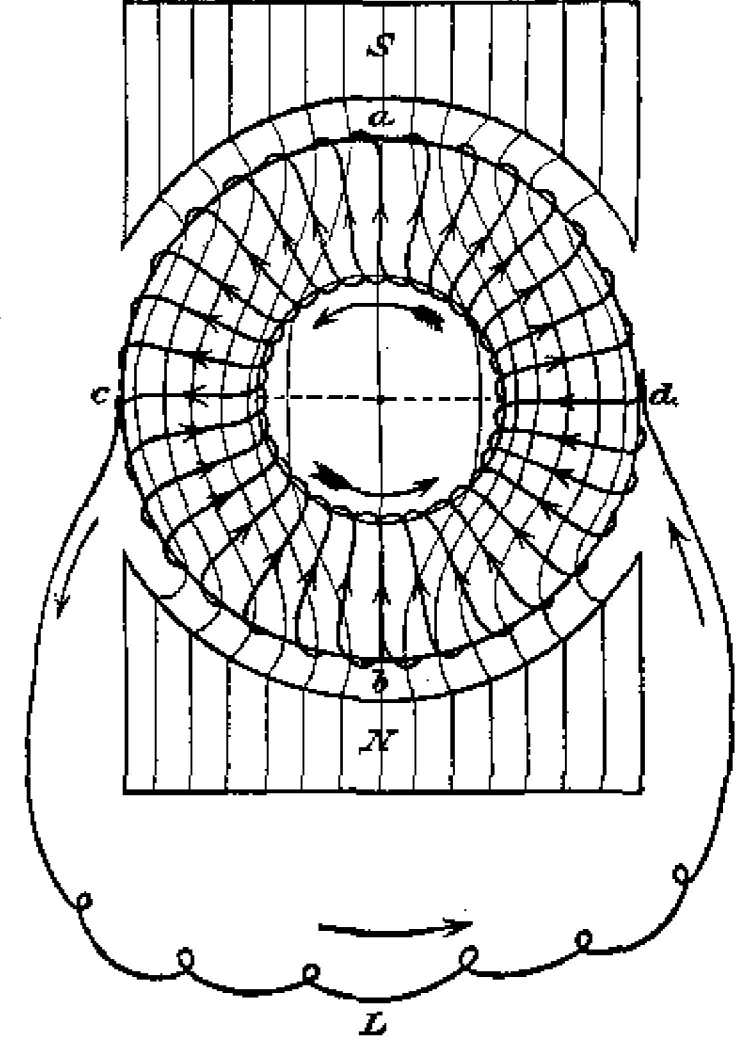
Кольцо Пачинотти-Грамма. „Динамо-электрическая машина не была еще совсѣмъ закончена и должна была перенести свои дѣтскія болѣзни. Одной изъ нихъ было нагрѣваніе желѣза при быстромъ перемѣщеніи магнит-

ныхъ полюсовъ". Нужно было придать якорю болѣе цѣлесообразную форму. Въ 1860 г. Антоніо Пачинотти въ Флоренціи сдѣлалъ важное открытіе, которое сначала, однако, не было оцѣнено по достоинству и признано и примѣнено только послѣ того, какъ въ 1869 механикъ Теофилъ Граммъ, самостоятельно и не зная объ открытіи Пачинотти, выступилъ въ Парижѣ со своей магнитоэлектрической машиной, построенной по той же идеѣ. Это и была, сдѣлавшаяся потомъ столь извѣстной, машина съ кольцевымъ якоремъ Пачинотти-Грамма.



720.

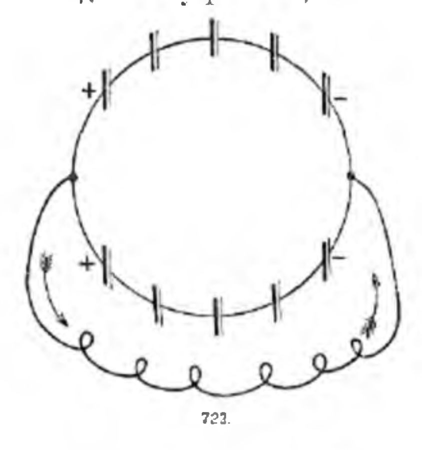
Для болѣе яснаго пониманія дѣйствія этой машины прослѣдимъ сначала тѣ индукціонныя явленія, которыя происходятъ въ кольцѣ K, двигающемся равномѣрно по направленію $NSS'N''$ вдоль двухъ одинаковыхъ прямыхъ магнитовъ, обращенныхъ одноименными полюсами другъ къ другу (рис. 720). Въ положеніи 1 въ точкѣ K индуктируется токъ, направленіе котораго согласно теоріи будетъ противоположно молекулярнымъ токамъ, протекающимъ въ магнитахъ. Въ положеніи 2 дѣйствіе индукціи въ точкѣ K равно нулю, потому что вліяніе части магнита 1—2 обратно тому, которое исходитъ отъ 2—3. Въ положеніи 3 индукція въ K достигаетъ максимума, такъ какъ прямое дѣйствіе отрѣзка 2—3 складывается здѣсь съ дѣйствіемъ отрѣзка 3—4; въ 4 она опять равняется нулю, а въ 5 достигаетъ такой же величины, какъ въ 1. Если представимъ себѣ двойной магнитъ, замкнутый въ видѣ кольца, такъ что одноименные полюсы соприкасаются въ SS' и въ NN', то мы получимъ двѣ максимальныя величины дѣйствія индукціи, именно въ мѣстахъ соприкосновенія обоихъ одноименныхъ магнитныхъ полюсовъ NN' и SS' и дѣйствіе, равное нулю въ мѣстахъ, черезъ которыя проходитъ діаметръ кольца, перпендикулярный къ линіи, соединяющей эти точки. Магнитное кольцо можетъ быть замѣнено кольцомъ изъ мягкаго желѣза, находящимся между полюсами сильнаго магнита, а одно проволочное кольцо замкнутой спиралью (рис. 721).



721. Машина съ кольцевымъ якоремъ Пачинотти-Грамма.

Въ желѣзномъ кольцѣ, такъ называемомъ якорѣ, противъ сѣвернаго полюса магнита индуктируется южный, противъ южнаго полюса индуктируется сѣверный полюсъ. Направленіе магнитныхъ силовыхъ линій обозначено на чертежѣ слабо изогнутыми кривыми: *бывшія въ началѣ прямыми силовыя линіи* отклоняются желѣзнымъ кольцомъ и направляются внутрь его, такъ что бо́льшая часть ихъ проходитъ черезъ желѣзо, а лишь немногіе проникаютъ черезъ внутреннее, заключающееся въ кольцѣ, воздушное пространство. Это внутреннее пространство представляетъ изъ себя поэтому слабое магнитное поле; между полюсами N, S и наружной поверхностью кольца, напротивъ, *возникаетъ сильное магнитное поле. Если якорь будетъ приведенъ въ рав-*

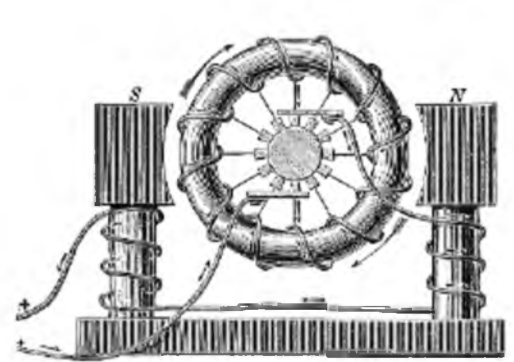
номѣрное вращательное движеніе, то положеніе якорныхъ полюсовъ останется внутри пространства то же самое. Точки a, b вращающагося якоря, лежащія *вблизи* обоихъ электромагнитныхъ полюсовъ N S, будутъ обладать всегда наиболѣе сильнымъ магнитизмомъ, точки c, d — одинаково отъ нихъ отдаленныя — низкимъ. Въ отдѣльныхъ оборотахъ замкнутой обмотки якоря получаются тѣ же индукціонныя дѣйствія, какъ если бы желѣзное кольцо было неподвижно укрѣплено, что на практикѣ едва ли исполнимо, а спираль вращалась бы равномѣрно вокругъ него. Токи, направленія которыхъ, по закону Ленца, обозначены на рисункѣ стрѣлками, дѣйствуютъ въ обѣихъ половинахъ кольца, верхней и нижней, *навстрѣчу другъ другу*, и уравновѣшиваются въ замкнутой обмоткѣ якоря. Но если соединить обѣ нейтральныя точки c и d посредствомъ щетокъ и внѣшней цѣпи L, то изъ обѣихъ половинъ кольца въ нихъ направятся токи одного направленія.



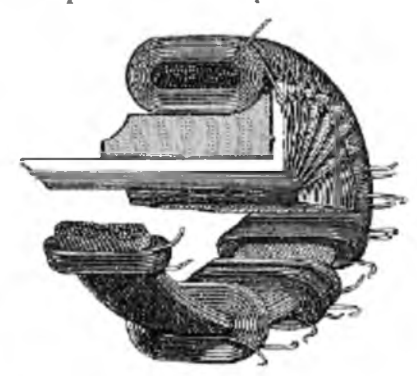
723.

Все это устройство можно сравнить съ гальванической батареей, состоящей изъ двухъ соединенныхъ другъ противъ друга половинъ, изъ которыхъ каждая содержитъ въ себѣ одинаковое число послѣдовательно соединенныхъ элементовъ (рис. 722). Въ такой батареѣ токи также взаимно уравновѣшиваются. Но если соединить посредствомъ внѣшней цѣпи мѣсто соединенія двухъ положительныхъ полюсовъ и отрицательныхъ, то токъ направится въ этой цѣпи отъ одной пары полюсовъ къ другой.

Рис. 723 изображаетъ схему кольцевой машины Пачинотти-Грамма. Отъ каждаго оборота обмотки якоря идетъ проволока къ горизонтальной




723. Схема кольцевой машины Пачинотти-Грамма.


724. Разрѣзъ кольца машины Грамма.

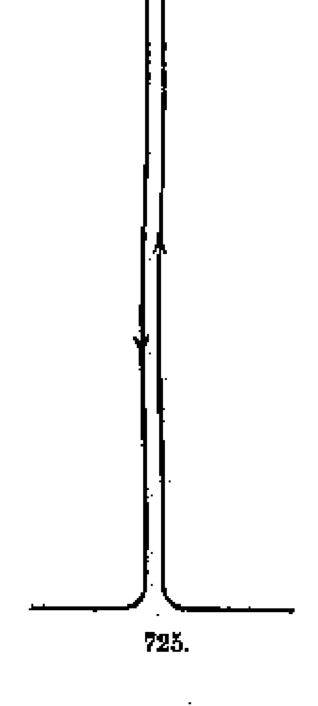
мѣдной пластинкѣ. Всѣ пластинки вмѣстѣ составляютъ круглый цилиндръ съ горизонтальной осью; онѣ хорошо изолированы другъ отъ друга и отъ оси. По цилиндру скользятъ пружины или щетки, которыя отводятъ токъ отъ нейтральныхъ точекъ. Рис. 724 представляетъ разрѣзъ кольца Грамма. Чтобы предупредить возникновеніе токовъ Фуко, его дѣлаютъ не изъ цѣльнаго желѣза, а изъ пучка желѣзныхъ проволокъ и обматываютъ короткими проволочными спиралями, которыя соединены въ одну общую цѣпь такъ, что конецъ каждой изъ нихъ соединенъ съ началомъ слѣдующей и съ соотвѣтственной отводящей токъ пластинкой.

Устройство кольца Грамма представляетъ замѣчательный успѣхъ въ

электротехникѣ, такъ какъ примѣненіе его даетъ возможность получить токи неизмѣнной силы и направленія, такъ называмые постоянные токи.

Мы не будемъ слѣдить за постепеннымъ усовершенствованіемъ динамомашинъ постояннаго тока, построенныхъ Гефнеръ фонъ Альтенекомъ, Эдисономъ, Шуккертомъ и многими другими инженерами и выдающимися электротехническими фирмами (Сименсъ и Гальске, Всеобщая компанія электричества), машинъ перемѣннаго тока (Ганцъ и К^0, общества Геліосъ, Томсона-Густона, Вестингауза, Эриксонъ и др.), машинъ трехфазнаго тока (Всеобщей компаніи электричества, Доливо-Добровольскаго, Тесла, Сименса и Гальске, Шуккерта и др.). Наша задача въ настоящее время лишь указать физическія основы электротехники, а въ другомъ мѣстѣ нашего сочиненія мы займемся ею самой.

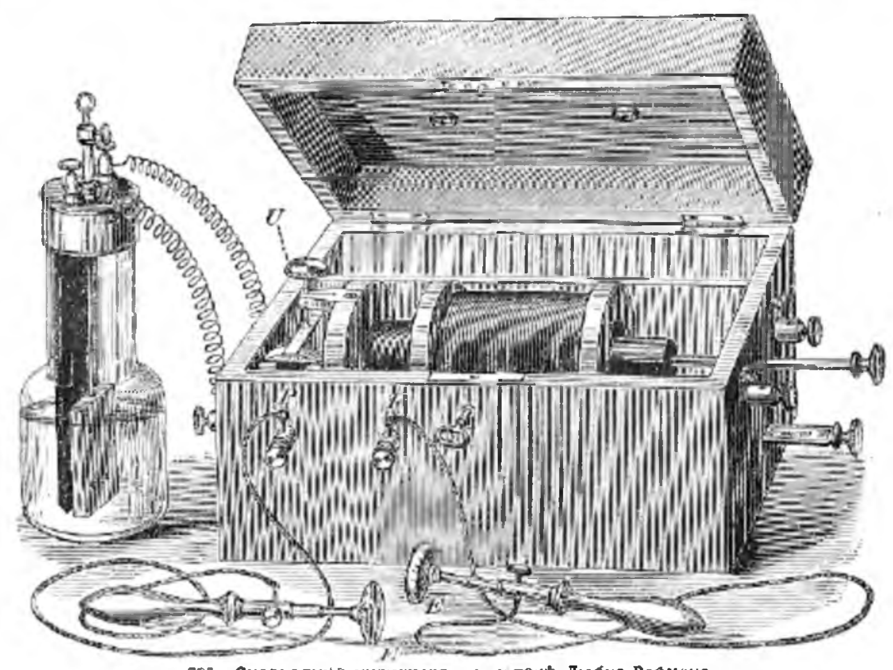
Самоиндукція. Каждый проводникъ, по которому проходитъ токъ, производитъ вокругъ себя магнитное поле. Возникновеніе или исчезновеніе тока въ проводѣ или перемѣна его силы сопровождается перемѣною магнитнаго поля. Число силовыхъ линій, перерѣзываемыхъ проводникомъ, мѣняется, и черезъ это въ немъ самомъ возбуждается электродвижущая сила. Это явленіе называется самоиндукціей или индукціей тока въ самомъ себѣ, а токъ, вызываемый электродвижущей силой самоиндукціи, называется экстратокомъ. Экстратокъ является какъ при замыканіи, такъ и размыканіи главнаго тока. Соотвѣтствующій замыканію экстратокъ бываетъ всегда обратнаго направленія, чѣмъ вызвавшій его главный токъ; онъ противодѣйствуетъ его возникновенію и замедляетъ его возрастаніе. Экстратокъ, соотвѣтствующій размыканію, замедляетъ уменьшеніе главнаго тока, усиливаетъ его и потому представляетъ большое напряженіе. Самоиндукція въ проводникѣ въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ его формы. Если перегнуть, напримѣръ, проволоку по серединѣ (рис. 725) и сложить ее вдвойнѣ, то направленіе тока въ обѣихъ половинкахъ будетъ противоположное, самоиндукція будетъ весьма мала. Этимъ свойствомъ пользуются при устройствѣ сопротивленій (бифилярная обмотка), чтобы имѣть эталоны сопротивленій, свободные отъ самоиндукціи. Если, проволоку разогнуть, то ея самоиндукція увеличится; она будетъ еще больше, если проволокѣ придать форму спирали, и, наконецъ, весьма сильно возрастаетъ, если ввести внутрь спирали сердечникъ изъ мягкаго желѣза. Каждый проводникъ имѣетъ опредѣленный коэффиціентъ самоиндукціи, величина котораго обусловливается формой, размѣромъ и обмоткой проводника. Если разомкнуть полученный отъ батареи электрическій токъ, вынувъ, напримѣръ, одинъ изъ проводниковъ изъ чашечки съ ртутью, то въ продолженіе очень короткаго промежутка времени наблюдается искра размыканія. Въ моментъ прекращенія тока въ мѣстѣ перерыва образуется цѣпь изъ проводящихъ частицъ вещества весьма сильнаго сопротивленія, которыя приходятъ въ состояніе накаливанія. Искра при размыканіи значительно усиливается при введеніи въ цѣпь спирали вслѣдствіе присоединенія къ прежней электродвижущей силѣ еще новой электродвижущей силы размыканія.



725.

Индукціонный аппаратъ. Индукціонный аппаратъ состоитъ изъ первичной спирали, соединенной съ батареей и сдѣланной изъ толстой изолированной проволоки, которая окружена вторичной спиралью изъ тонкой проволоки и изъ самодѣйствующаго приспособленія, дающаго возможность послѣдовательно быстро размыкать и замыкать первичный токъ (см. стр. 566). Внутри первичной спирали находится пучокъ изолированной проволоки изъ мягкаго желѣза, благодаря которому значительно усиливаются индукціонные токи во вторичной спирали, явля-

ющіеся при каждомъ размыканіи и замыканіи. Сила дѣйствія аппарата зависитъ отъ числа оборотовъ въ тонкой обмоткѣ, на изоляцію которой слѣдуетъ обратить особенное вниманіе. Увеличиваніемъ числа оборотовъ легко получаются индукціонные токи, напряженіе которыхъ превосходитъ въ тысячу и болѣе разъ токъ въ первичной спирали. Существуютъ спирали въ 100,000 оборотовъ, для чего нужно, смотря по діаметру катушки, 100,000 метровъ и болѣе тонкой проволоки; въ этихъ спираляхъ достигаются поразительно высокія напряженія. Если соединить концы вторичной спирали подобныхъ индукторовъ съ двумя металлическими остріями или же только одинъ конецъ съ остріемъ, а другой съ металлической пластинкой, то получаютъ между ними искры, какъ отъ сильной электрической машины, длина которыхъ увеличивается вмѣстѣ съ напряженіемъ; такимъ образомъ и наоборотъ, разстояніе между остріями, при которомъ могутъ

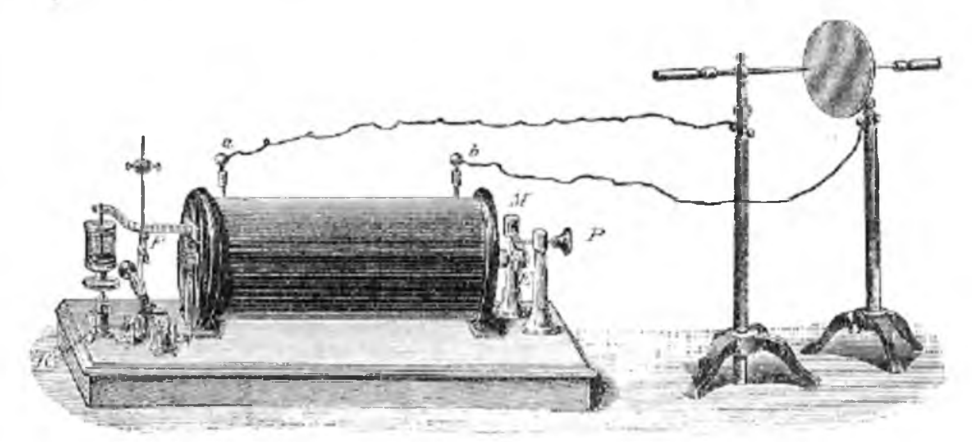


726. Скользящій индукторъ по методѣ Дюбуа-Реймона.

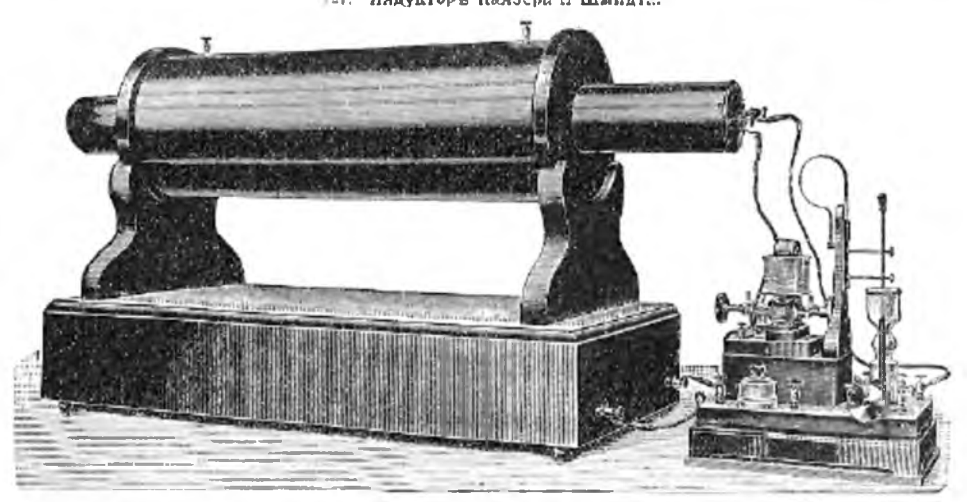
получаться искры, можетъ быть разсматриваемо, какъ показатель даваемаго аппаратомъ напряженія. При первичномъ токѣ приблизительно отъ 6 Бунзеновскихъ элементовъ большіе индукторы, построенные впервые Румкорфомъ въ Парижѣ и названные въ честь него спиралями Румкорфа, при быстромъ прерываніи тока даютъ искры до 1 метра длиной. Для полученія такого результата нужно по возможности сократить время исчезновенія тока при его прерываніи, а также уменьшить искру, образующуюся въ мѣстѣ перерыва и зависящую отъ самоиндукціи первичной цѣпи. Для этой цѣли двѣ точки прерывателя, лежащія на разныхъ сторонахъ мѣста прерыванія, соединяются (по Физо) съ обкладками плоскаго конденсатора, сдѣланнаго изъ листовъ станіоля, въ промежуткахъ между которыми положена парафинированная бумага или, еще лучше, слюда. Являющееся отъ самоиндукціи количество электричества направляется тогда въ обложки конденсатора съ большой емкостью и отводится такимъ образомъ отъ мѣста прерыванія, чѣмъ уменьшается величина искры и ея продолжительность.

Рис. 726 представляетъ скользящій индукторъ съ принадлежностями по методѣ Дюбуа-Реймона, употребляемый для медицинскихъ цѣлей.

Токъ для первичной спирали доставляется элементомъ Грене и замыкается и размыкается посредствомъ автоматическаго прерывателя U (сравн. стр. 566). Вторичныя спирали и сердечникъ могутъ перемѣщаться относительно первичной спирали на опредѣленныя разстоянія, чѣмъ усиливается или ослабляется дѣйствіе прибора. Концы вторичной спирали идутъ къ зажимамъ P, P. Въ физіологическихъ дѣйствіяхъ индукціонныхъ токовъ можно убѣдиться, прикоснувшись къ соединеннымъ съ ними электродамъ.



727. Индукторъ Кайзера и Шмидта.

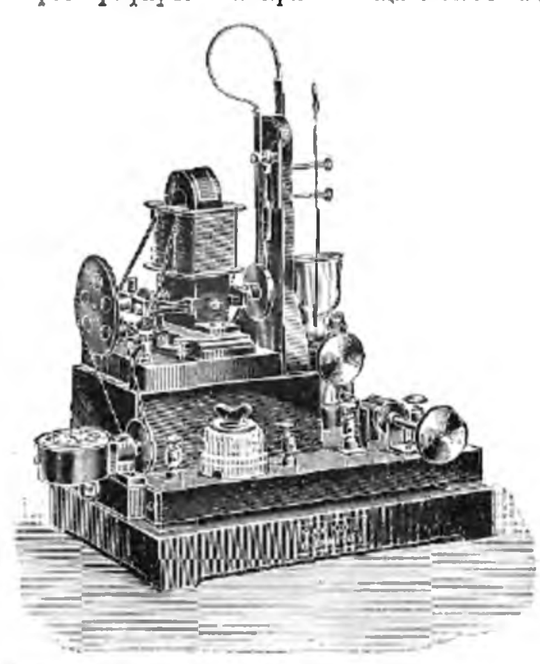


728. Индукторъ Макса Коля.

Рис. 727 изображаетъ индукторъ средней величины Кайзера и Шмидта въ Берлинѣ съ двумя прерывателями. Находящійся съ правой стороны пружинный прерыватель состоитъ изъ латунной пружины, укрѣпленной въ точкѣ M и снабженной желѣзной пластинкой E, которая при разомкнутомъ токѣ прикасается находящейся на ней платиновой пластинкой къ подвижному платиновому штифту P, а при замкнутомъ токѣ притягивается желѣзнымъ сердечникомъ первичной спирали. M и P соединены съ обѣими обкладками находящагося на днѣ аппарата конденсатора. Расположенный съ лѣвой стороны ртутный прерыватель, также примѣняемый на практикѣ, даетъ возможность по мѣрѣ надобности передвиженіемъ грузика, находящагося наверху, уменьшать или увеличивать число прерываній. Крѣпкая латунная пружина F,

переставляемая выше или ниже посредствомъ зубчатаго соединенія, снабжена двуплечимъ рычагомъ, имѣющимъ на одномъ концѣ желѣзный якорь, на другомъ штифтъ, который при разомкнутомъ токѣ опущенъ въ ртуть, а при замыканіи поднимается изъ нея. Чтобы предупредить окисленіе ртути отъ дѣйствія воздуха при образованіи искръ, на нее наливается слой алкоголя. *K* представляетъ коммутаторъ Румкорфа (см. стр. 553), который съ одной стороны соединенъ съ источникомъ тока, а съ другой съ концами первичной спирали. Концы вторичной спирали проведены къ зажимамъ *a* и *b*.

Рис. 728 изображаетъ большой индукторъ Макса Коля въ Хемницѣ съ быстровращающимся прерывателемъ, въ особенности пригоднымъ для наблюденія и фотографированія при помощи Рентгеновскихъ лучей. Для Рентгеновской фотографіи, особенно нужно и важно сократить время экспозиція, а для непосредственнаго наблюденія важно равномѣрное освѣщеніе флуоресцирующаго экрана. И то, и другое будетъ достигнуто, если прерыванія будутъ совершаться быстро и равномѣрно.



729. Вращающійся прерыватель Коля съ тахометромъ.

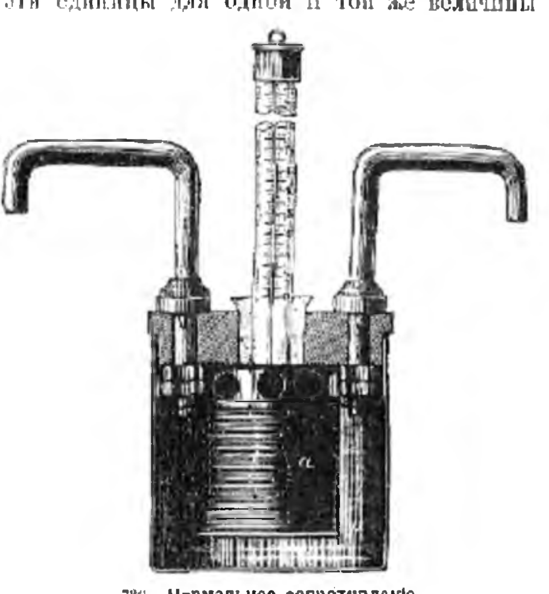
Вращающійся ртутный прерыватель (рис. 729), дающій въ минуту отъ 1000 до 2000 прерываній, состоитъ изъ небольшого электромотора, который при помощи кривошипа и шатуна спускаетъ и поднимаетъ платиносеребряный штифтъ изъ сосуда съ ртутью, устанавливаемого выше или ниже. Съ помощью тахометра, прикрѣпленнаго къ прерывателю, можно точно опредѣлить число оборотовъ, наблюдая за положеніемъ стрѣлки его, которая показываетъ, дѣлаетъ ли постоянно моторъ 1200, 1600, 2000 оборотовъ въ минуту. При колебаніи въ числѣ оборотовъ стрѣлка перемѣняетъ свое положеніе; если колебаній нѣтъ, то стрѣлка остается неподвижной. Чтобы предупредить окисленіе ртути, на нее наливають слой керосина. Прерыватель, имѣющій выключатель для мотора и коммутаторъ для тока индуктора, привинченъ къ тяжелой желѣзной доскѣ.

Электромагнитныя единицы мѣры и способы измѣренія.

Электростатическая и электромагнитная система единицъ. Единицы силы. Амперъ. Измѣреніе силы тока. Единица количества электричества. Единица сопротивленія. Омъ. Нормальныя сопротивленія. Измѣреніе сопротивленія твердыхъ проводниковъ и электролитовъ. Вліяніе температуры. Болометръ. Единица электродвигательной силы. Вольтъ. Нормальные элементы. Измѣреніе электродвигательной силы. Компенсаціонный методъ. Единица емкости. Фарада. Конденсаторы. Измѣреніе емкости.

Дѣйствія гальваническаго тока, о которомъ выше была рѣчь, служатъ для измѣренія электрическихъ величинъ и для опредѣленія ихъ единицъ. Электромагнитныя и электродинамическія дѣйствія, производимыя проводникомъ въ то время, какъ черезъ него проходитъ токъ, являются, какъ мы видѣли, притягательными и отталкивательными, слѣдовательно, чисто механиче-

скими дѣйствіями. Наоборотъ, проводникъ, двигаемый чисто механической силой съ извѣстной скоростью въ магнитномъ или электрическомъ полѣ, проявляетъ электродвигательную силу. Эта взаимная связь выражается въ томъ, что электрическія величины, какъ и механическія, измѣряются въ абсолютной мѣрѣ, т.-е. сантиметрами, граммами и секундами. Исходя изъ механическаго взаимодѣйствія, которое обнаруживается между двумя наэлектризованными тѣлами, мы приходимъ къ электростатической системѣ единицъ, которая имѣетъ чисто научный теоретическій интересъ, а исходя изъ механическихъ дѣйствій, которыя производитъ токъ на магнитъ, получаютъ электромагнитную систему. Эта послѣдняя имѣетъ выдающееся практическое значеніе и составляетъ основу опредѣленія единицъ, употребляемыхъ въ электротехникѣ. Хотя единицы для электрическихъ величинъ были въ употребленіи съ давнихъ поръ, но эти единицы для одной и той же величины были различны не только въ разныхъ государствахъ, но и въ одной и той же странѣ. Съ развитіемъ современной электротехники, потребность установить единую общую электрическую систему единицъ дѣлалась все болѣе и болѣе настоятельной, и, наконецъ, во время международной электрической выставки въ Парижѣ въ 1881 г. состоялся международный конгрессъ, поставившій себѣ задачей установить, на основаніи Гауссъ-Веберовской абсолютной системы единицъ, общую практическую систему для важнѣйшихъ электрическихъ величинъ и создать отчасти общую терминологію для всѣхъ количественныхъ магнитныхъ и электрическихъ отношеній, т.-е. главнымъ образомъ относительно слѣдующихъ пяти величинъ: силы тока, количества электричества, сопротивленія, электродвигательной силы и емкости.



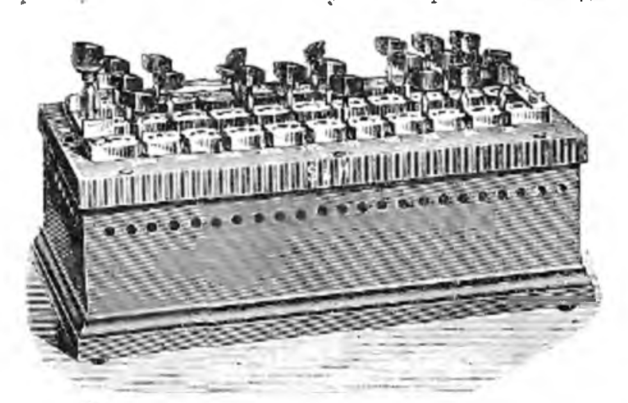
780. Нормальное сопротивленіе.

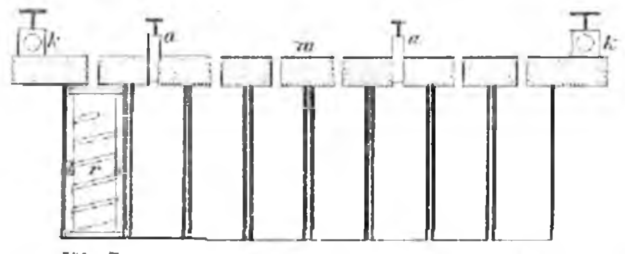
Теоретическая или абсолютная единица для силы тока и выведенная изъ нея практическая единица, амперъ, были уже опредѣлены раньше (см. стр. 549, 556). Также мы дали уже и электрохимическое опредѣленіе ампера (стр. 574) и описали въ упомянутыхъ мѣстахъ методы измѣренія тока посредствомъ гальванометра и вольтаметра. Тысячная часть ампера называется миллиамперъ.

Теоретическая единица количества электричества есть то количество электричества, которое протекаетъ въ единицу времени черезъ поперечный разрѣзъ проводника, черезъ который проходитъ единица тока. Десятая часть ея служитъ, подъ названіемъ кулона, практической единицей для количества электричества. Кулонъ, слѣдовательно, есть то количество электричества, которое протекаетъ въ каждую секунду черезъ поперечникъ проводника, по которому проходитъ сила тока въ одинъ амперъ. 1 кулонъ = 1 амперу $\times$ 1 секунду; 1 амперъ-часъ равенъ, слѣдовательно, $60 \times 60 = 3600$ кулоновъ.

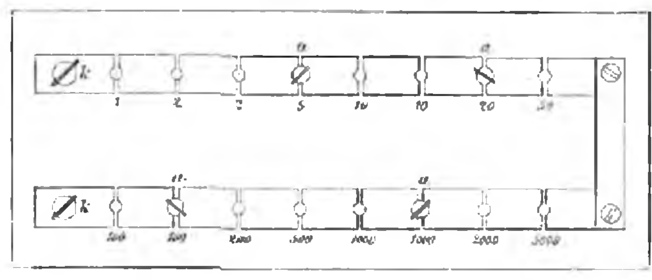
Теоретическая единица сопротивленія есть сопротивленіе проводника, въ которомъ единица тока совершаетъ единицу работы въ единицу

времени (см. стр. 581). Практическая единица сопротивленія въ 1000 милл. разъ больше теоретической и называется омъ. Установленіе точной мѣры сопротивленія имѣетъ основное значеніе во всѣхъ электрическихъ изысканіяхъ. Остальныя электрическія величины измѣряются сложнѣе и труднѣе, и для нихъ затруднительно установить точные образцы, но если уже разъ опредѣлили сопротивленіе соотвѣтственно устроеннаго проводника изъ опредѣленнаго матеріала, то оно можетъ служить прототипомъ для выведенія сопротивленія всѣхъ другихъ тѣлъ. По примѣру Вернера Сименса выбрали ртуть, какъ самый подходящій матеріалъ и послѣ многихъ тщательныхъ опредѣленій ома, произведенныхъ выдающимися учеными разныхъ націй, вывели наиболѣе вѣроятную величину теоретическаго ома и за истинный омъ приняли сопротивленіе ртутного столба въ 106,3 сантиметровъ длины и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія при 0° Ц. Одинъ омъ, слѣдовательно, равенъ, 1,063 единицы Сименса. Въ качествѣ прототипа сопротивленій считается сопротивленіе ртути, наполняющей стеклянную трубку, приготовленную и сохраняемую въ Физико-техническомъ государственномъ учрежденіи въ Берлинѣ и провѣряемую отъ времени до времени. Въ качествѣ главныхъ образцовъ для правительственной повѣрки сопротивленій


731. Штепсельный реостатъ Сименса и Гальске.



732. Внутреннее устройство штепсельнаго реостата.



733. Штепсельный реостатъ. Видъ сверху.

находящихся въ обращеніи, принимаются сопротивленія изъ подходящаго матеріала, точная величина котораго въ омахъ опредѣляется по прототипу и время отъ времени съ нимъ сравнивается. Въ послѣднее время вышеупомянутое учрежденіе установило нормальныя сопротивленія отъ 0,0001 до 10000 омовъ. Рис. 730 представляетъ одно изъ такихъ сопротивленій. Матеріаломъ взята манганиновая проволока, намотанная на катушку. Въ свободной части катушки поверхъ обмотки проворченъ рядъ отверстій, чтобы сдѣлать возможнымъ свободное обращеніе минеральнаго масла, наполняющаго весь сосудъ. Концы проволоки припаяны серебромъ къ мѣднымъ гайкамъ, которыя навинчены и припаяны къ нижнимъ концамъ крѣпкихъ мѣдныхъ стержней,

согнутыхъ въ видѣ буквы *u*. Болѣе длинные концы ихъ проходятъ черезъ крышку изъ рогового каучука; посредствомъ короткихъ весь сосудъ подвѣшивается при измѣреніи къ стаканчикамъ, наполненнымъ ртутью. Температура измѣряется термометромъ, помѣщеннымъ въ сосудѣ. Такія отдѣльныя сопротивленія могутъ быть устроены въ видѣ цѣлаго набора такимъ же образомъ, какъ это дѣлается для набора разновѣсокъ, расположенныхъ по кратнымъ числамъ и дробямъ основной единицы. Рис. 731 представляетъ эталонъ сопротивленія или штепсельный реостатъ Сименса и Гальске, заключающій сопротивленія отъ 0,1 до 5000 омовъ, въ общемъ 10000 омовъ. Внутреннее его устройство показано на рисункѣ 732; рисунокъ 733 изображаетъ его сверху. На эбонитовой крышкѣ укрѣплено извѣстное число толстыхъ латунныхъ кусковъ *m* на небольшихъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Каждая пара изъ нихъ можетъ быть металлически соединена между собой посредствомъ коническихъ тщательно отшлифованныхъ и снабженныхъ рукоятками штепселей. Внутри ящика находятся проволочныя сопротивленія, соотвѣтствующія числамъ, помѣченнымъ на крышкѣ, и намотанныя на эбонитовыхъ катушкахъ въ видѣ двойныхъ спиралей, припаянныхъ своими концами къ мѣднымъ стерженькамъ *b*, *b* и, черезъ посредство послѣднихъ, металлически соединенныхъ съ каждой парой сосѣднихъ латунныхъ кусковъ. Крѣпко вставленный штепсель оказываетъ протекающему току весьма слабое сопротивленіе, которымъ вообще можно пренебречь; наоборотъ, если штепсель вынуть, то этимъ въ цѣпь вводится соотвѣтствующее сопротивленіе. Сдѣланныя въ стѣнкахъ ящика отверстія обезпечиваютъ вентиляцію воздуха. Величины сопротивленій соотвѣтствуютъ опредѣленной помѣченной на крышкѣ температурѣ.

Очень малыя сопротивленія устраиваются изъ параллельныхъ проводниковъ, соединенныхъ въ видѣ пучка, концы которыхъ обмотаны вокругъ мѣдныхъ пластинокъ и спаяны съ ними; очень же большія сопротивленія до милліоновъ омъ легко приготовляются въ видѣ слоевъ графита, нанесенныхъ на эбонитовой или стеклянной доскѣ и соединенныхъ на концахъ съ крѣпкими металлическими контактами. Напр. фирма Сименса и Гальске строитъ такіе графитные эталоны сопротивленія отъ 1 до 100 милліоновъ омъ.

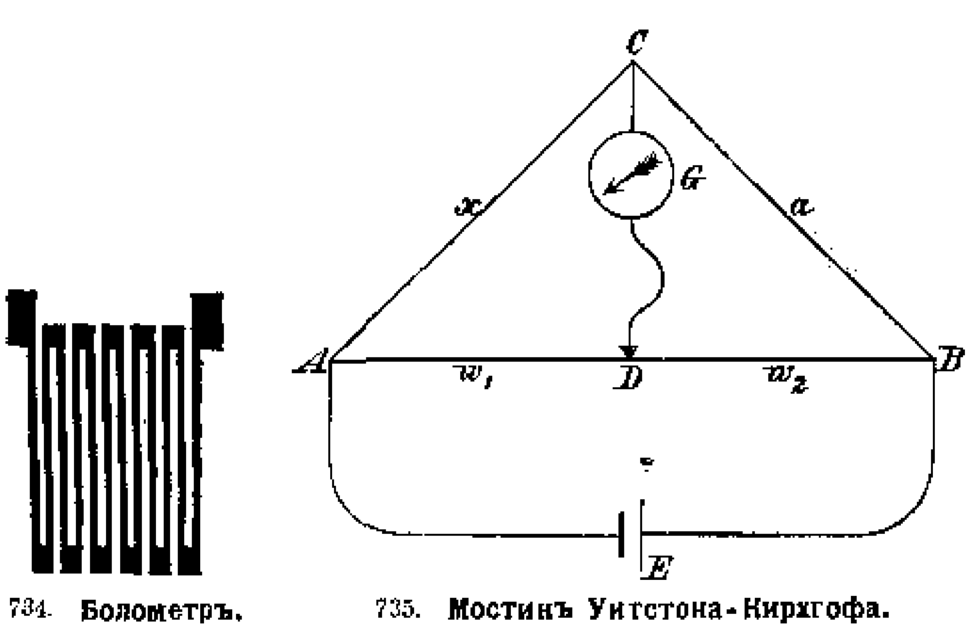
Милліонная часть ома называется микромъ, а милліонъ омовъ — мегаомъ или мегомъ. Обыкновенно обозначаютъ милліонную часть какой-либо величины посредствомъ прибавленія слова μικρός (малый) и слова μέγας (большой) для обозначенія величины, взятой въ милліонъ разъ.

Мы видѣли уже (стр. 549), что удѣльное сопротивленіе различно для различныхъ металловъ. Оно зависитъ далѣе въ значительной степени отъ химической чистоты и отъ способа механической обработки проводниковъ, напр. отъ ихъ закалки.

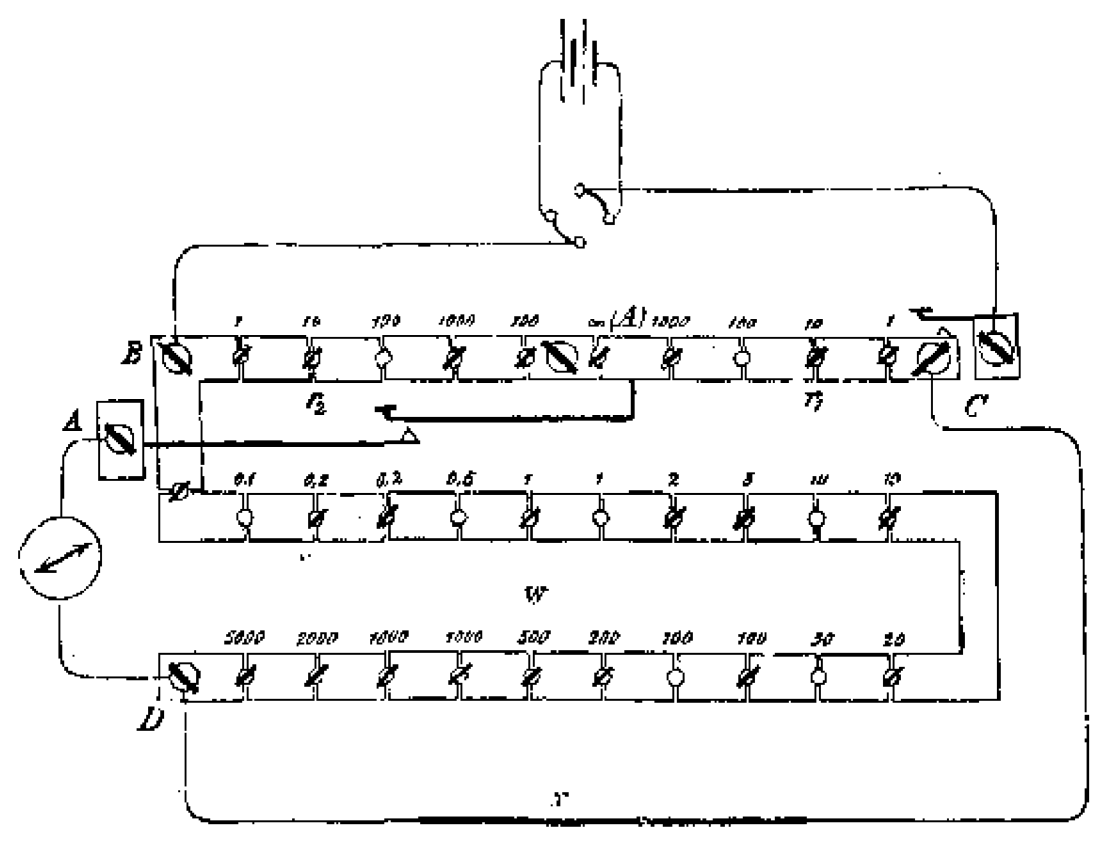
На любопытное соотношеніе между тепловой и электрической проводимостью металловъ уже указывалось раньше (стр. 439). Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены удѣльныя сопротивленія и проводимости нѣкоторыхъ металловъ:

Вещество при 18° Ц.	Сопротивленіе проволоки въ 1 м. длиной и 1 кв. мм. сѣченія въ омахъ.	Проводимость относительно ртути при 0° Ц.
Серебро	0,016	59
Мѣдь	0,017	55
Золото	0,023	41
Цинкъ	0,063	15
Желѣзо	0,09 до 0,15	6 до 10
Сталь	0,15 до 0,5	2 до 6
Платина	0,14	6,5
Свинецъ	0,21	4,6
Сюрьма	0,45	2,1
Ртуть	0,958	0,984
Висмутъ	1,2	0,8
Уголь	50 до 70	0,02 до 0,015
Латунь	0,07 до 0,09	10 до 14
Нейзильберъ	0,16 до 0,40	2,4 до 6

Сопротивленіе металловъ увеличивается съ повышеніемъ температуры, именно для жидкой ртути на 0,00088, а для чистыхъ, твердыхъ металловъ приблизительно на 0,004 при повышеніи на 1° Ц. Сопротивленіе угля уменьшается съ повышеніемъ температуры на 1° на Ц. на 0,0003. Въ послѣднее время для устройства сопротивленій употребляютъ преимущественно мѣдно-никкелевые и марганцево-мѣдные сплавы, какъ-то „Никкелинъ“, „Константанъ“, „Манганинъ“, „Патентованный Никкель“, обладающіе очень незначительными коэффиціэнтами измѣненія сопротивленія съ температурой, благодаря чему эта послѣдняя можетъ быть опущена при измѣреніяхъ, производимыхъ на практикѣ.



734. Болометръ. 735. Мостикъ Уитстона-Кирхгофа.



736. Универсальный мостикъ Сименса и Гальске.

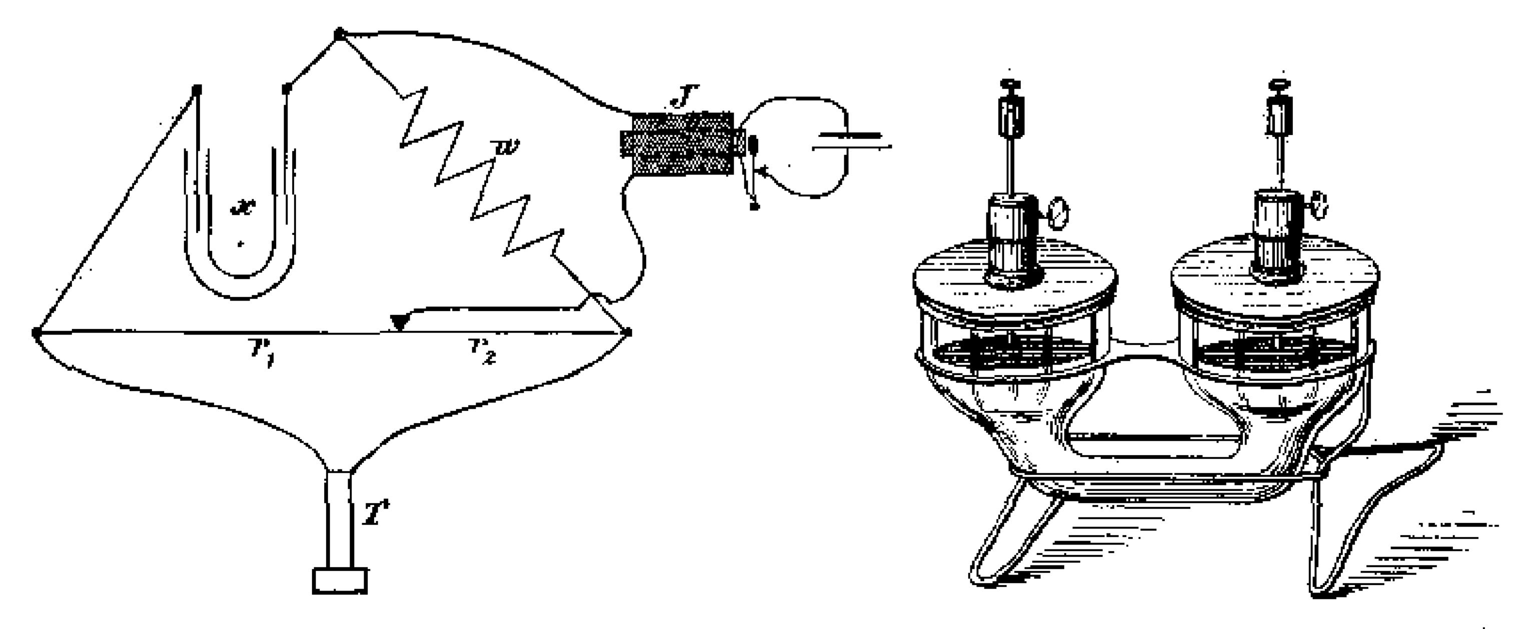
Болометръ. На томъ явленіи, что сопротивленіе металловъ увеличивается при нагрѣваніи, основанъ усовершенствованный С. П. Ланглеемъ болометрическій методъ измѣренія, употреблявшійся раньше только при изслѣдованіяхъ лучистой теплоты (стр. 490), въ новѣйшее же время примѣняемый также и для электрическихъ измѣреній, напр. для измѣренія силы перемѣнныхъ токовъ и разрядовъ. Принципъ этотъ состоитъ въ томъ, что посредствомъ измѣненія сопротивленія тонкаго проводника, на который падаютъ тепловые лучи, измѣряется сила лучеиспусканія. Для измѣренія перемѣны сопротивленія употребляется по методу Ланглея мостикъ Уитстона, въ одну изъ вѣтвей котораго вводится освѣщенный проводникъ, болометръ (рис. 734), въ видѣ ряда узкихъ и очень тонкихъ (около 0,001 мм.) металлическихъ полосъ, лучше всего изъ станніола или платины.

Жидкости имѣютъ гораздо меньшую проводимость, чѣмъ металлы. Такъ напр. относительно ртути при 0° Ц. проводимость:

20% сѣрной кислоты	при 18° Ц.	0,0000611
„ азотной кислоты	„ „	0,0000665
„ соляной кислоты	„ „	0,0000719
„ раствора поваренной соли	„ „	0,0000183
„ раствора цинковаго купороса	„ „	0,0000043

Проводимость жидкостей значительно увеличивается при повышеніи температуры, кромѣ того она увеличивается съ концентраціей; нѣкоторыя же жидкости, напр. разбавленная сѣрная кислота, азотная кислота, цинковый купоросъ и другія, имѣютъ при извѣстной концентраціи максимумъ проводимости.

Измѣреніе сопротивленія. Лучшій методъ для точнаго сравненія сопротивленій это мостикъ Уитстона, о которомъ мы уже говорили (стр. 551 и 552). Ту роль, которую въ химіи при опредѣленіяхъ массы играютъ химическіе вѣсы, при опредѣленіяхъ сопротивленія играетъ мостикъ Уитстона. Очень употребительная и удобная форма этого измѣрительнаго мостика дана впервые Г. Кирхгофомъ (рис. 735). Въ немъ сумма обѣихъ вѣтвей сопротивленія w_1 и w_2 есть постоянная величина, представляющая натянутую вдоль миллиметровой шкалы ровную проволоку изъ никкелина или еще лучше изъ платины или платиноиридія, которую называютъ реохордомъ AB. Въ одну изъ боковыхъ вѣтвей вводится опредѣляемое сопротивленіе x, въ другую извѣстное сопротивленіе a. Одна изъ діагональныхъ вѣтвей (собственно мос-



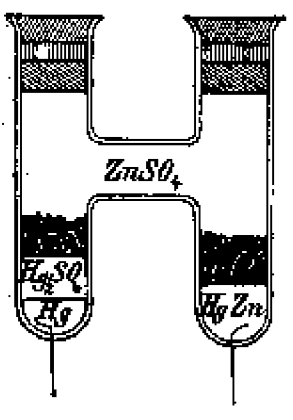
737. Измѣреніе сопротивленія электролитовъ. 738. Сосудъ для жидкихъ сопротивленій.

тикъ) заключаетъ въ себѣ гальванометръ g, другая — батарею E. На измѣрительной проволокѣ передвигается контактъ D, составляющій одинъ конецъ мостика, до тѣхъ поръ, пока въ гальванометрѣ не прекратится токъ, и отклоненіе его не станетъ равно нулю. Тогда имѣетъ мѣсто пропорція $x : a = w_1 : w_2$, слѣдовательно, искомое сопротивленіе $x = a.\frac{w_1}{w_2}$ Если измѣрительная проволока строго цилиндрична, то отношеніе сопротивленій, опредѣляемое положеніемъ контакта, равно отношенію длинъ обѣихъ частей проволоки, которое можно опредѣлить по миллиметровой линейкѣ.

Рис. 736 изображаетъ универсальный мостикъ Сименса и Гальске, очень удобный для практическихъ измѣреній. Величины сопротивленій r_1 и r_2, съ которыми производится сравненіе, представляютъ въ немъ рядъ, состоящій изъ 1, 10, 100 и 1000 омовъ, а сопротивленія W—штепсельный реостатъ, содержащій отдѣльныя сопротивленія отъ 0,1 до 5000 омовъ. Подходящимъ выборомъ штепселей мы можемъ дать отношенію $\frac{r_1}{r_2}$ значенія 0,001, 0,10, 0,1 1, 10, 100 и 1000. Кромѣ того, аппаратъ имѣетъ два ключа, чтобы замыкать и размыкать батарею и гальванометръ, и коммутаторъ для перемѣны расположенія вѣтвей.

Точное опредѣленіе сопротивленія электролитовъ сопряжено съ большими трудностями вслѣдствіе того, что они разлагаются при прохожденіи тока и отлагаютъ на электродахъ продукты своего разложенія, иными сло-

вами — поляризуются. Поэтому при опредѣленіи сопротивленія разлагаемыхъ жидкостей приходится прибѣгать къ особымъ способамъ, чтобы ими опредѣлить мѣшающее вліяніе поляризаціи и исключить ее изъ результата измѣренія или же совсѣмъ его устранить. Съ этой цѣлью, по способу Ф. Кольрауша, вмѣсто тока постояннаго направленія, получаемаго отъ батареи, употребляютъ быстро слѣдующіе одинъ за другимъ перемѣнные токи противоположнаго направленія, но одинаковой силы, вслѣдствіе чего поляризація электродовъ, вызванная токомъ одного направленія, уничтожается слѣдующимъ токомъ обратнаго направленія.

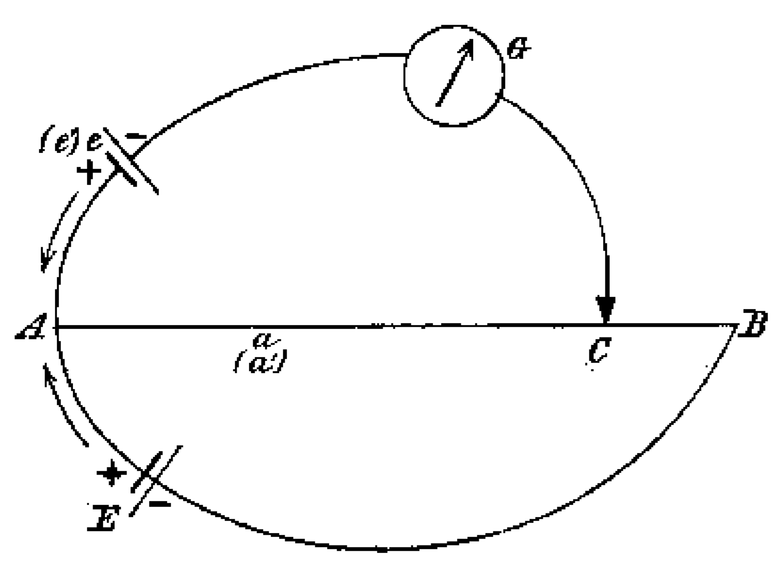


739. Нормальный элементъ Латимера Кларка.

Въ качествѣ источника тока употребляютъ вторичную спираль индуктора съ быстрымъ прерываніемъ тока. Изслѣдуемыя жидкости помѣщаются въ особенные сосуды, приспособленные для этой цѣли (рис. 738) съ электродами изъ платиновыхъ пластинокъ. Для измѣренія тока вмѣсто гальванометра берутъ электродинамометръ или, что удобнѣе, телефонъ. Соединенія видны изъ схематическаго рисунка (рис. 737). Контактъ до тѣхъ поръ передвигается по измѣрительной проволокѣ, пока въ телефонѣ не прекратится шумъ; тогда получается искомое сопротивленіе изъ отношенія $x : w = r_1 : r_2$.

Теоретической единицей для разности потенціаловъ и электродвигательной силы служитъ та электродвигательная сила, которая вызываетъ токъ силою, равной единицѣ, въ проводникѣ, сопротивленіе котораго тоже равно единицѣ.

Эта единица, взятая въ 100 милліоновъ разъ больше, составляетъ практическую единицу электродвигательной силы и называется вольтомъ. **Одинъ вольтъ вызываетъ въ цѣпи сопротивленія въ 1 омъ токъ силою въ одинъ амперъ.** По закону Ома одинъ амперъ $= \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ омъ}}$.

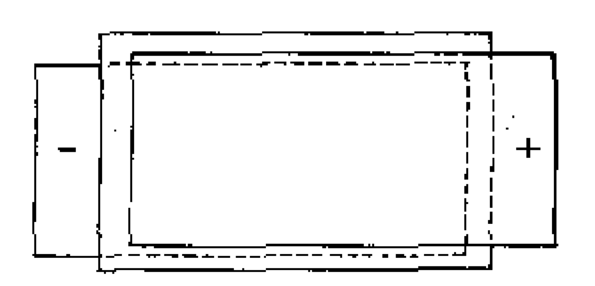


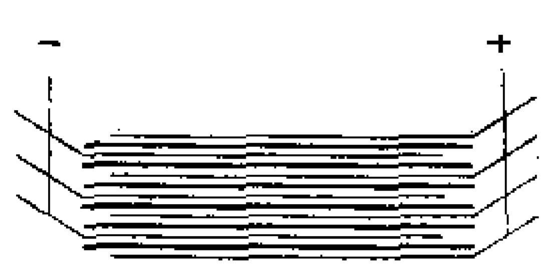
740. Компенсаціонный способъ.

Физико-техническое государственное учрежденіе въ Берлинѣ приготовляетъ постоянные гальваническіе нормальные элементы, электродвигательная сила которыхъ измѣрена въ вольтахъ такъ, чтобы они, снабженные сертификатами, могли служить для общественныхъ потребностей. Изъ многихъ употребительныхъ нормальныхъ элементовъ въ особенности годенъ для этой цѣли элементъ Латимера Кларка, отличающійся своимъ постоянствомъ и особенностью возстановляться въ своей первоначальной силѣ (рис. 739). Онъ состоитъ изъ ртути или платиновой амальгамы (положительный электродъ), находящейся въ сѣрнортутной соли-закиси, и изъ амальгамированнаго цинка (отрицательный электродъ) въ растворѣ цинковаго купороса. Его электродвигательная сила очень постоянна; она мѣняется, если употребленные матеріалы химически чисты, по измѣреніямъ упомянутаго учрежденія, въ теченіе года не болѣе, чѣмъ на 0,0001 вольта; она равна при $+15^{0}$ С. 1,434 вольта и уменьшается въ предѣлахъ среднихъ температуръ на 0,0012 съ повышеніемъ на 1^{0} С. Такое же постоянство электродвигательной силы и весьма слабое измѣненіе съ температурой представляетъ и Вестоновскій нормальный элементъ, состоящій изъ ртути или платиновой амальгамы (положительный электродъ) въ

сѣрнортутной соли закиси и кадміевой амальгамы (отрицательный электродъ) въ сѣрнокислой соли кадмія. Его электродвигательная сила равна при обыкновенной температурѣ 1,025 вольта и уменьшается съ повышеніемъ на 1° С. на 0,00001 вольта.

Измѣреніе электродвигательныхъ силъ. Чтобы сравнить между собою электродвигательныя силы двухъ элементовъ *e* и *e'*, образуютъ цѣпь изъ одного изъ элементовъ *e*, чувствительнаго гальванометра и сопротивленія, настолько большого, что сравнительно съ нимъ сопротивленіе элемента можетъ быть не принято во вниманіе, и наблюдаютъ уголъ отклоненія гальванометра *a*; затѣмъ замѣняютъ *e* элементомъ *e'* и наблюдаютъ уголъ *a'*, соотвѣтствующій этому послѣднему; тогда электродвигательныя силы относятся между собою, какъ эти углы, или, точнѣе, какъ ихъ тангенсы. Болѣе точный способъ, который можетъ быть примѣненъ и къ непостояннымъ элементамъ, есть такъ называемый компенсаціонный способъ, данный впервые Поггендорфомъ и видоизмѣненный Боша, ф. Вальтенгофеномъ, дю-Буа-Реймономъ и др. Съ концами измѣрительной проволоки *AB* (рис. 740) соединяется постоянная батарея *E*, электродвигательная сила которой болѣе каждаго изъ двухъ сравниваемыхъ элементовъ *e* и *e'*. Элементъ *e* вводится противоположно батареѣ *E*, такъ чтобы положительные токи были направлены къ точкѣ *A*, и затѣмъ передвиженіемъ контакта *C* приводятъ токъ въ гальванометрѣ *G* къ нулю. Послѣ этого *e* замѣняютъ черезъ *e'* и снова передвиженіемъ контакта уничтожаютъ токъ въ гальванометрѣ. Если это происходитъ оба раза при длинахъ проволоки *a* и *a'*, то электродвигательныя силы *e* и *e'* относятся между собою, какъ *a* и *a'*.





741. Конденсаторъ изъ слюды.

Электродвигательныя силы можно сравнивать и опредѣлять также и при помощи крутильнаго гальванометра (см. стр. 561 и слѣд.).

Въ отношеніи величины электродвигательной силы наиболѣе употребительныхъ элементовъ слѣдуетъ еще прибавить (см. стр. 545 и слѣд.), что электродвигательная сила элемента Даніэля колеблется, смотря по концентраціи растворовъ, между 1,07 и 1,18 вольта, элемента Грове — 1,8—1,9 вольта, Бунзена — 1,9—1,95, Лекланше — 1,3—1,4 и аккумулятора около 2 в. и что термоэлектрическая сила батареи Гюльхера (стр. 586) изъ 80 элементовъ приблизительно равна 3,9 вольта.

Конденсаторъ обладаетъ емкостью, равною теоретической единицѣ, были онъ можетъ быть заряженъ единицей количества электричества до разности потенціаловъ, равной единицѣ. Эта единица громадна; она въ десять тысячъ милліоновъ разъ больше емкости солнца. Вслѣдствіе этого на практикѣ за единицу принимаютъ ея тысячемилліонную часть, называемую фарадой. Конденсаторъ обладаетъ емкостью, равной одной фарадѣ, если онъ можетъ быть заряженъ количествомъ электричества, равнымъ одному кулону до разности потенціаловъ, равной одному вольту.

$$1 \text{ кулонъ} = 1 \text{ фарадѣ} \times 1 \text{ вольтъ}.$$

Вслѣдствіе весьма большой величины даже и фарады для практическихъ цѣлей берутъ одну милліонную часть ея, называемую микрофарадой, и устраиваютъ нормальные конденсаторы, емкость которыхъ равняется 1, $^1/_2$, $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ микрофарады.

Въ качествѣ изолятора для конденсаторовъ болѣе всего пригодна слюда. Устройство конденсатора изъ слюды производится слѣдующимъ образомъ: ряды слюды и листовъ станніоля прямоугольной формы накладываются попеременно другъ на друга, какъ это показано на рисункѣ 741. Каждый листъ станніоля съ одной стороны выступаетъ изъ ряда слюдяныхъ листовъ, съ трехъ же остальныхъ онъ не достигаетъ ихъ краевъ; листы станніоля попеременно выдаются съ противоположныхъ сторонъ, листы 1, 3, 5, 7 и т. д. съ правой, листы 2, 4, 6 и т. д. съ лѣвой стороны; концы, выдающіеся съ одной и той же стороны, соединяются металлически другъ съ другомъ и вмѣстѣ составляютъ одну обкладку. Такимъ образомъ устраиваются отдѣльные конденсаторы, которые располагаются по порядку, какъ эталоны сопротивленія.

Для устройства очень большихъ конденсаторовъ, употребляемыхъ въ телеграфной практикѣ, до 100 и до 1000 микрофарадъ, вмѣсто дорогой слюды берутъ изоляторомъ тонкую бумагу, пропитанную хорошо очищеннымъ параффиномъ, воскомъ, шеллакомъ и т. д.

Емкости двухъ конденсаторовъ сравниваются между собою такимъ образомъ: ихъ заряжаютъ поочередно одинъ за другимъ при помощи одной и той же батареи и затѣмъ разряжаютъ черезъ чувствительный гальванометръ съ большимъ періодомъ качанія магнита (баллистическій гальванометръ). Емкости относятся тогда другъ къ другу, какъ отклоненія гальванометра.

Емкость Лейденской банки въ 2,5 кв. метра поверхности каждой изъ обкладокъ обладаетъ при толщинѣ стекла отъ 2—3 мм. емкостью въ 0,003—0,007 микрофарады; емкость подводнаго кабеля около 0,3—0,5 микрофарады на протяженіи одного узла (одинъ узелъ или одна морская миля = 1,852 килом.).

Единицы работы и мощности электрическаго тока. Изъ вышеприведенныхъ электрическихъ единицъ на парижскомъ съѣздѣ электриковъ были выведены новыя единицы измѣренія для работы и рабочей мощности. Подъ словомъ работа тока вообще принято понимать произведеніе изъ электродвигательной силы, силы тока и его продолжительности или произведеніе изъ электродвигательной силы на количество прошедшаго электричества; соотвѣтственно этому практическую единицу работы тока секунду-вольтъ-амперъ или вольтъ-кулонъ опредѣляютъ, какъ работу, совершаемую въ одну секунду токомъ силою въ 1 амперъ при электродвигательной силѣ, равной 1 вольту. Эта работа называется также джоулемъ и соотвѣтствуетъ приблизительно 0,102 килограммометра.

Подъ мощностью тока подразумѣваютъ работу, совершаемую въ единицу времени; *практическая единица ея, слѣдовательно, есть* Вольтъ-Амперъ = 1 Уатту = 1 Джоулю въ секунду, приблизительно = 0,102 килограммометра въ секунду.

Въ качествѣ единицы для большихъ величинъ мощности электрическаго тока въ электротехникѣ употребляется:

1 килоуаттъ = 1000 уаттамъ.

Понятія вольтъ-кулонъ и вольтъ-амперъ представляютъ, какъ это показываютъ самыя названія, полную аналогію механическимъ понятіямъ: килограммометръ и килограммометръ въ 1 секунду. Подобно тому, какъ килограммометръ представляетъ работу, которая совершается при паденіи одного килограмма съ высоты одного метра, вольтъ-кулонъ представляетъ работу, совершаемую токомъ при прохожденіи одного кулона съ одного уровня потенціала до другого, на 1 вольтъ меньшаго. Токъ, протекая по проводнику, преодолѣваетъ его сопротивленіе и совершаетъ работу въ формѣ тепла и свѣта. Величина мощности тока зависитъ отъ силы тока и электродвигательной силы и выражается въ вольтъ-амперахъ. Равенство

1 вольтъ-амперъ = 1 уаттъ

служитъ намъ, какъ средство для выраженія электрической энергіи въ механическихъ единицахъ и обратно.

Электромагнитная теорія свѣта Фарадея-Максвелля. Колебанія Герца. Опыты Герца надъ распространеніемъ электрической силы. Опыты Тесла. Телеграфъ безъ проводовъ Маркони.

Фарадей, въ своемъ стремленіи доказать единство силъ природы и тѣмъ достигнуть возможно полнаго и простого способа ихъ объясненія, первый высказалъ мысль, что магнитныя и электрическія силы не дѣйствуютъ непосредственно на разстояніи, но распространяются черезъ промежуточную среду отъ одной точки къ другой. Слѣдуя этому взгляду съ логической послѣдовательностью въ своихъ опытахъ, онъ дошелъ до своего знаменитаго открытія индукціи и интересныхъ соотношеній между свѣтомъ, магнитизмомъ и электричествомъ. Главный вопросъ, который всегда живѣйшимъ образомъ его занималъ, былъ тотъ, требуется ли извѣстное время для распространенія магнитныхъ и электрическихъ силъ. Если мы вдругъ возбудимъ электромагнитъ, то будетъ ли его дѣйствіе замѣтно тотчасъ и въ одно ли время какъ въ ближайшихъ, такъ и въ отдаленныхъ мѣстахъ, или оно распространяется, переходя отъ одной точки къ другой, черезъ промежуточную среду? Или если мы возбудимъ посредствомъ индуктора быстро слѣдующіе другъ за другомъ перемѣнные токи, то будетъ ли электрическая сила колебаться одновременно во всѣхъ мѣстахъ, или колебанія ея будутъ замѣтны сперва на близкихъ, а затѣмъ уже на далекихъ разстояніяхъ. Въ послѣднемъ случаѣ мы должны будемъ принять, что вслѣдствіе электрическаго колебанія частички воздуха или эѳира претерпѣваютъ электрическія измѣненія своего состоянія, которыя распространяются постепенно все дальше, что въ одномъ и томъ же опредѣленномъ мѣстѣ господствуетъ періодически измѣняющееся состояніе и что электрическое колебаніе распространяется въ видѣ волны, для чего нужно извѣстное время. Въ продолженіе долгаго времени идеи Фарадея оставались подъ спудомъ, такъ какъ противорѣчили и были совершенно чуждыми господствующему воззрѣнію; ихъ плодотворное значеніе было оцѣнено лишь послѣ того, какъ онѣ были переработаны знаменитымъ англійскимъ физикомъ Джемсомъ Клеркомъ Максвеллемъ въ остроумную, строго математическую теорію, извѣстную съ тѣхъ поръ (1865) подъ именемъ электромагнитной теоріи свѣта. Исходный пунктъ этой теоріи для Максвелля составилъ тотъ фактъ, что во взаимодѣйствіи явленій магнитизма и электричества обнаруживается существованіе опредѣленной величины, такъ называемой критической скорости, величина которой изъ электрическихъ измѣреній оказалась равною скорости свѣта. Это замѣчательное совпаденіе Максвелль счелъ не случайностью, а слѣдствіемъ того, что тотъ же самый эѳиръ служитъ посредникомъ какъ для электрическихъ силъ, такъ и для свѣта. По Максвеллю, свѣтъ представляетъ собою нѣкоторое волнообразное электрическое движеніе, перпендикулярное къ направленію луча, причемъ отдѣльныя, находящіяся въ немъ, частички эѳира испытываютъ последовательно одна за другой одни и тѣ же электрическія измѣненія, причемъ на разстояніяхъ, равныхъ половинѣ длины волны, въ нихъ существуютъ въ каждый моментъ времени противоположныя электрическія состоянія или противоположно направленныя электрическія силы.

Безсмертная заслуга — доказать на опытѣ справедливость теоріи Фарадея-Максвелля — принадлежитъ Генриху Герцу, тому незабвенному, слишкомъ рано похищенному у науки, геніальному изслѣдователю, который въ продолженіе своей, къ сожалѣнію, столь короткой жизни сдѣлалъ все-таки много важнѣйшихъ открытій и указалъ физикѣ новые пути изслѣдованія. Герцу

удалось выяснить на опытѣ волнообразную природу электрической силы и указать, что лучи ея распространяются согласно тѣмъ же законамъ, что и свѣтовые. Свои работы объ электрическихъ колебаніяхъ, послѣдовавшія быстро одна за другой и распространившія его славу далеко по всему ученому міру, онъ соединилъ въ одной особой книгѣ „Изслѣдованія распространенія электрической силы“, которая появилась въ 1892 году. Эта книга, во вступленіи къ которой онъ даетъ правдивое изображеніе хода развитія его открытій, всегда будетъ считаться въ числѣ лучшихъ сокровищъ физической литературы.

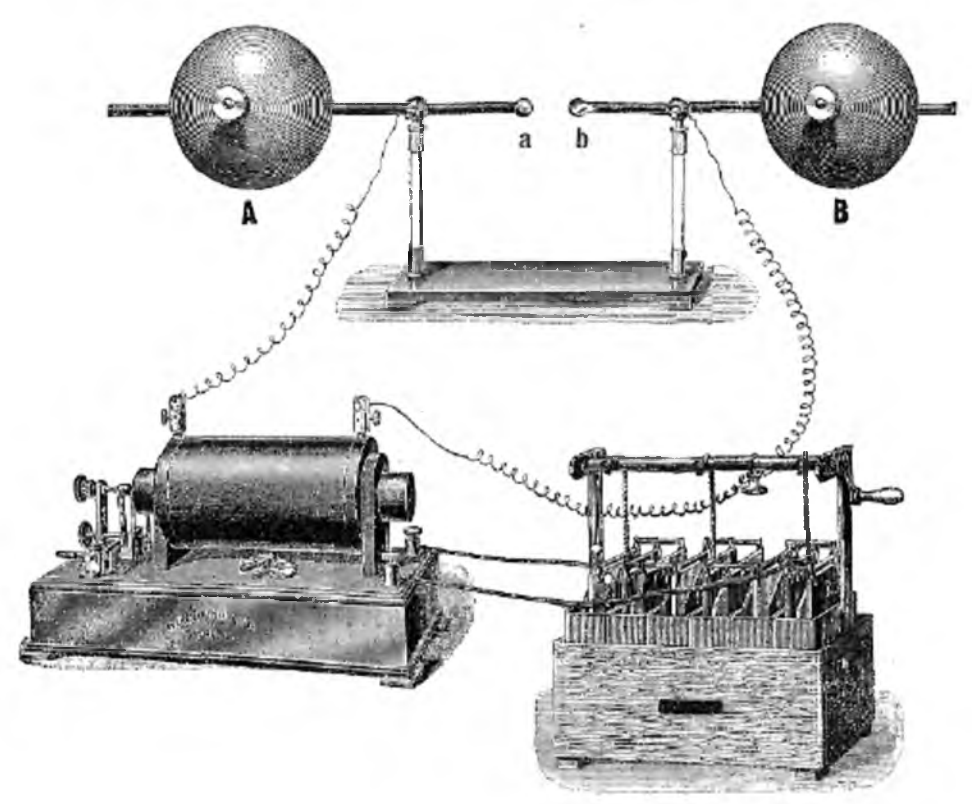
Колебанія Герца. Электрическія колебанія мы можемъ вызвать посредствомъ разряда Лейденской банки. Мы ранѣе (стр. 526) упомянули, что этотъ разрядъ представляетъ собою не простое однородное явленіе, но состоитъ изъ множества вибрирующихъ, слѣдующихъ быстро другъ за другомъ, частичныхъ разрядовъ. Каждый отдѣльный частичный разрядъ продолжается гораздо менѣе, нежели полный разрядъ, завися существеннымъ образомъ отъ емкости Лейденской банки и требуя для себя, если послѣдняя невелика, всего только около одной милліонной части секунды. За это время электрическое движеніе распространится уже на разстояніе въ 300 метровъ, такъ какъ, по теоріи, скорость его распространенія равна скорости движенія свѣта, то есть около 300,000 километровъ въ секунду; такимъ образомъ, понятно, что этимъ путемъ въ обыкновенной лабораторіи время распространенія быстро измѣняющихся колебаній такой длины волны не можетъ быть измѣрено.



742. **Генрихъ Герцъ**
Родился въ Гамбургѣ въ 1857 г., умеръ въ 1894 г. профессоромъ физики въ Боннѣ.

Чтобы это стало возможнымъ, слѣдовало сначала разрѣшить задачу вызвать такія электрическія колебанія, которыя слѣдовали бы такъ быстро другъ за другомъ, чтобы длину ихъ волны въ воздухѣ было удобно измѣрить въ небольшомъ помѣщеніи. Герцъ разрѣшилъ эту задачу, показавъ, что при надлежащихъ условіяхъ разряды Лейденской банки могутъ вызывать въ самихъ незамкнутыхъ проводникахъ колебанія съ періодами гораздо меньшими ихъ собственнаго. Для этой цѣли соединяютъ, напримѣръ, двѣ достаточно толстыя проволоки, оканчивающіяся шариками, съ полюсами вторичной спирали индуктора (рис. 743), первичная спираль котораго возбуждается достаточно сильной батареей; тогда разрядная искра вызываетъ между шариками a и b колебанія, продолжительность которыхъ равняется одной стомилліонной части секунды и тѣмъ меньше, чѣмъ меньше емкость, т.-е. чѣмъ меньше размѣры металлическихъ частей первичнаго проводника Aa, bB. Чтобы не полу-

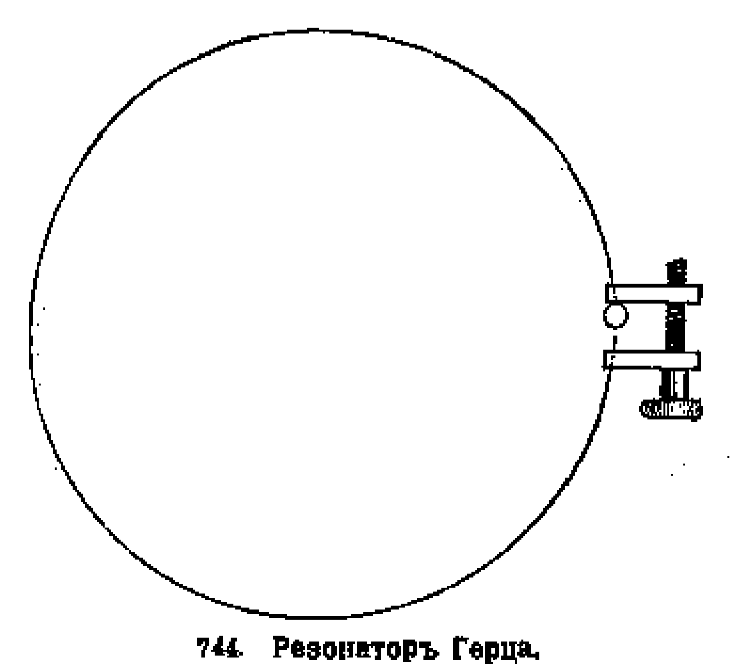
чить колебаній слишкомъ незначительной продолжительности, можно увеличить емкость прямыхъ проволокъ, снабдивъ ихъ большими шарами *A*, *B*. Эти быстро слѣдующія вибраціи называются **колебаніями Герца**. Герцъ предоставилъ возможность колебаніямъ одного такого (вертикально поставленнаго) первичнаго проводника свободно распространяться въ пространствѣ, послѣ чего они отражались отъ поставленной на разстояніи приблизительно 13 метровъ вертикальной металлической стѣнки; тогда путемъ интерференціи прямыхъ и отраженныхъ волнъ между первичнымъ проводникомъ и металлической стѣнкой являлись стоячія электрическія волны, т.-е такія, что



743. Вибраторъ Герца.

въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, такъ называемыхъ узлахъ, колебанія электрической силы были незамѣтны, на другихъ же, такъ называемыхъ пучностяхъ, они были сильнѣе всего; по направленію отъ узла къ пучности они постепенно усиливались, чтобы къ слѣдующему узлу снова уменьшиться до нуля. Электрическія явленія происходили главнымъ образомъ въ изолирующей средѣ; проводники являлись непроницаемыми для колебаній Герца. Для доказательства, что, дѣйствительно, здѣсь имѣетъ мѣсто именно такое распредѣленіе электрической силы, Герцъ долженъ былъ придумать особый приборъ, такъ называемый **электрическій резонаторъ** или **вторичный проводникъ**, т.-е. простую прямую или кругообразную проволоку съ тонкимъ микрометрически передвигаемымъ искромѣромъ (рис. 744). Въ этомъ проводникѣ, находящемся въ сферѣ волнъ первичнаго проводника, также возбуждаются колебанія, которыя проявляются въ видѣ искорокъ, наиболѣе рѣзкихъ вблизи пучностей и тѣмъ слабѣе, чѣмъ ближе къ узламъ. Конечно,

сила электрическаго резонанса обусловливается формой и величиной вторичнаго проводника; резонаторъ долженъ быть настроенъ опредѣленнымъ образомъ по отношенію къ первичному проводнику; такъ же, какъ и въ акустикѣ, резонаторъ долженъ быть настроенъ въ извѣстный тонъ, чтобы отзываться на звукъ опредѣленной волны. Съ такимъ электрическимъ резонаторомъ, располагаемымъ вертикально и перпендикулярно къ направленію распространенія волнъ, Герцъ изслѣдовалъ электрическое поле и нашелъ, что поблизости металлической стѣны искры не появляются, а обнаруживаются только въ нѣкоторомъ отъ нея разстояніи, что съ этого мѣста онѣ дѣлаются все сильнѣе, пока не достигаютъ максимума въ опредѣленномъ мѣстѣ, чтобы затѣмъ постепенно уменьшиться до нуля въ извѣстной точкѣ. Разстояніе между двумя узлами и двумя пучностями, т.-е. половина длины волны оказалась въ среднемъ равной 4,8 метрамъ. Продолжительность періода колебанія была вычислена въ 3,1 стомилліонныхъ секунды; отсюда слѣдуетъ, что скорость распространенія $= \frac{9{,}6 \text{ м.}}{3{,}1 \text{ стомилліон секунды}} = 310{,}000$ километровъ въ секунду, стало-быть, она равна по величинѣ скорости распространенія свѣта.



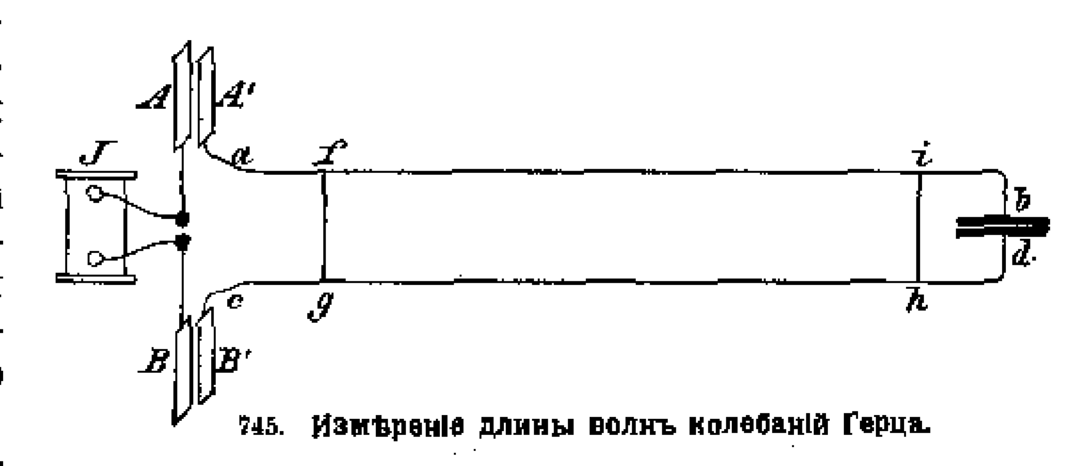
744. Резонаторъ Герца.

Расположеніе опытовъ Герца подверглось современемъ различнымъ измѣненіямъ, въ особенности со стороны объективнаго демонстрированія; такъ какъ искорки въ искромѣрѣ были незначительной величины и видны только въ темнотѣ, да и то съ трудомъ, этотъ искромѣръ былъ замѣненъ препаратомъ лягушки; съ успѣхомъ стали примѣнять также и другіе измѣрители энергіи Герцовыхъ колебаній, напр. Гейслерову трубку, чувствительный электроскопъ, термоэлементъ, болометръ. Очень удобный и простой способъ измѣренія длины волнъ Герцовыхъ колебаній предложенъ Лехеромъ.

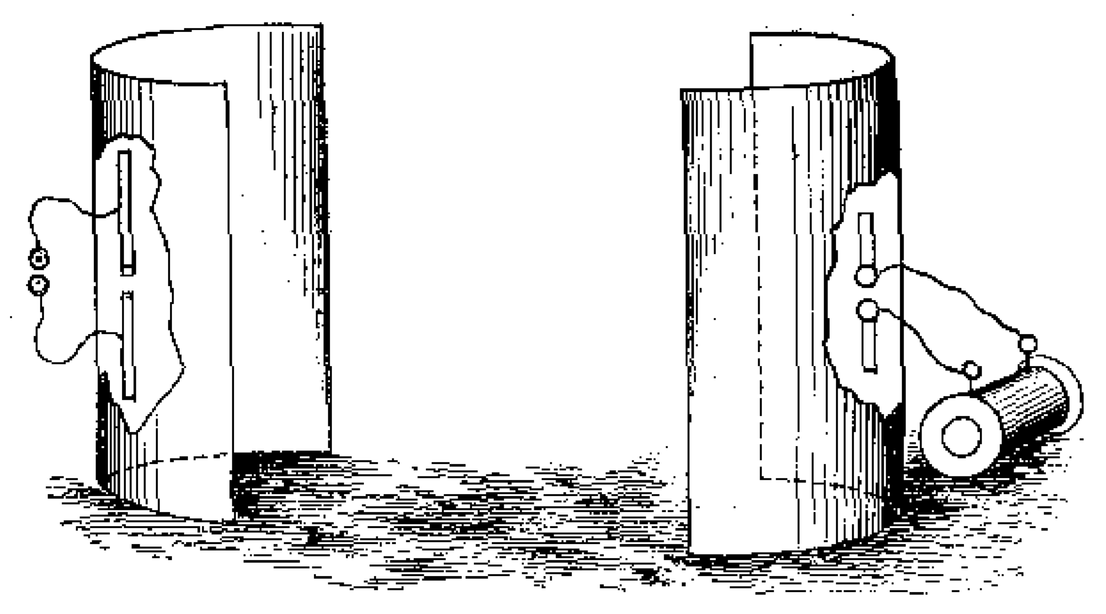
Отъ вторичной спирали сильнаго индукціоннаго аппарата J (рис. 745) ведутъ къ первичному проводнику двѣ короткія проволоки; первичный проводникъ состоитъ изъ двухъ квадратныхъ металлическихъ пластинъ A, B со сторонами въ 40 сантиметровъ длины и прямой соединительной проволоки въ 100 сантиметровъ, которая въ серединѣ прерывается искромѣромъ длиною около 0,75 сантиметра; въ этомъ проводникѣ разрядами индуктора возбуждаются колебанія. Поперечникъ шариковъ искромѣра приблизительно 3 сантиметра. Противъ пластинокъ A, B на разстояніи 4 сантиметровъ поставлены двѣ равной величины пластинки A', B', изъ которыхъ исходятъ длинныя (по меньшей мѣрѣ, въ 6 метровъ) мѣдныя проволоки ab и cd, параллельныя, удаленныя другъ отъ друга на разстояніе 30 сантиметровъ, которыя, будучи хорошо изолированы, или кончаются свободно въ воздухѣ или же прикрѣплены къ небольшимъ конденсаторнымъ пластинкамъ около 20 сантиметровъ въ діаметрѣ. По близости концовъ находится Гейслерова трубка съ электродами или безъ нихъ. Если въ первичномъ проводникѣ между A и B возбудить колебанія, то колебанія возникнутъ и въ сосѣднихъ пластинкахъ въ силу индукціи, откуда они распространятся по воздуху вдоль параллельныхъ проволокъ и вызовутъ свѣченіе Гейслеровой трубки. Если параллельныя проволоки будутъ соединены поперечной проволокой fg (проволочной дугой, снабженной изолирующей ручкой), то свѣченіе вообще пре-

кратится; но если передвигать поперечную проволоку вдоль параллельныхъ, то можно найти опредѣленныя мѣста, при соединеніи которыхъ трубка вновь начинаетъ свѣтиться. Положеніе этихъ пунктовъ при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ зависитъ отъ емкости конденсатора.

При достаточно длинныхъ проволокахъ пункты *fg* и *ih* могутъ быть опредѣлены такимъ образомъ, что, если они одновременно будутъ соединены, трубка засвѣтится. Обѣ электрическія цѣпи *fihg* и *ibdh* будутъ находиться тогда въ резонансѣ, и общая длина цѣпи *fihg* составитъ длину волны происходящихъ въ ней колебаній. Изъ наблюденій длины волнъ и вычисленной продолжительности колебаній получилось, что быстрота распространенія колебаній въ проволокѣ совпадаетъ со скоростью свѣта. Такъ какъ громадная величина этой скорости заставляетъ предполагать, что носителемъ свѣтового движенія служитъ въ высшей степени тонкая упругая среда, эѳиръ, то опыты Герца приводятъ къ заключенію, что также и электрическія волны распространяются черезъ эѳиръ, что свѣтовыя и электрическія волны суть колебанія эѳира, отличаясь другъ отъ друга только своею длиною. Если это справедливо, то электрическія волны должны представлять тѣ же явленія, что и свѣтовыя, должны подчиняться законамъ отраженія, преломленія, поляризаціи. И это было блестяще доказано Герцомъ въ его знаменитыхъ опытахъ съ зеркалами. Онъ помѣстилъ первичный проводникъ на фокусной линіи вертикальнаго параболическаго вогнутаго зеркала (рис. 746), въ которомъ были сдѣланы отверстія для проволокъ, идущихъ къ этому проводнику; этимъ онъ достигъ того, что электрическіе лучи, собранные вмѣстѣ, дѣйствовали сильнѣе и съ большаго разстоянія на резонаторъ, чѣмъ безъ зеркала. Поворачивая послѣднее, можно было послать электрическіе лучи въ различныхъ направленіяхъ и показать прямолинейность распространенія ихъ, отыскивая ихъ съ помощью резонатора. Если поставить резонаторъ на фокусную линію второго зеркала, расположеннаго тоже вертикально и симметрично относительно перваго, то можно легко прослѣдить дѣйствіе на разстояніи въ пять разъ больше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Если на пути лучей будетъ помѣщено проводящее тѣло, напр. металлическій экранъ или даже человѣческое тѣло, то резонаторъ погасаетъ; проводящія тѣла отбрасываютъ тѣнь. Но электрическіе лучи не поглощаются при этомъ, а только отражаются этими проводниками. Резонаторъ гаснетъ и тогда, когда зеркала



745. Измѣреніе длины волнъ колебаній Герца.


746. Опыты Герца съ зеркалами.

ставять такъ, что ихъ оси скрещиваются подъ угломъ въ 90°. Но если въ точку пересѣченія осей помѣстить гладкій вертикальный металлическій экранъ или рѣшетку изъ параллельныхъ вертикальныхъ проволокъ такъ, чтобы поверхность ея составляла съ осями уголъ въ 45°, то въ резонаторѣ снова появляются искры.

Можно показать также и преломленіе электрическихъ лучей при помощи большой призмы, сообразно съ длиной волны, сдѣланной изъ смолы, асфальта или параффина, причемъ можно расчитать направленіе преломленныхъ лучей при помощи закона преломленія и діэлектрической постоянной (см. стр. 521) преломляющаго вещества.

Наконецъ, можетъ быть доказана также и поляризація электрическихъ лучей. Лучи первичныхъ колебаній поляризованы по свойству ихъ возникновенія прямолинейно. Если между двумя коаксіальными вогнутыми зеркалами находится вышеупомянутая рѣшетка, то резонаторъ гаснетъ, если проволоки стоятъ вертикально, и свѣтится, если онѣ расположены горизонтально. Этотъ опытъ аналогиченъ нѣкоторымъ образомъ съ описаннымъ въ оптикѣ (стр. 311) опытомъ съ турмалиновой пластинкой.

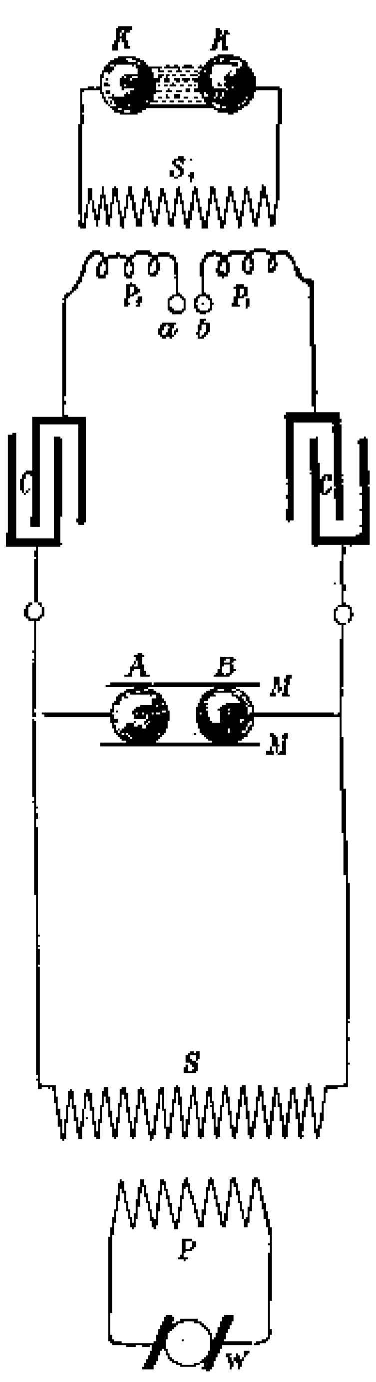


747. Николай Тесла.

Этими опытами, выполненными съ творческой фантазіей и удивительнымъ остроуміемъ, Герцъ довершилъ торжество электромагнитной теоріи свѣта, согласно которой свѣтъ есть только особый видъ электрическихъ лучей. Видимыя эѳирныя волны составляютъ только небольшую часть наблюдаемыхъ эѳирныхъ волнъ. Длина ихъ колеблется отъ 0,4 до 0,75 μ и такимъ образомъ едва занимаютъ одну октаву, между тѣмъ какъ эѳирныя волны, невидимыя нашимъ глазомъ, но обнаруживающія свое присутствіе тепловыми дѣйствіями, наблюдались длиною въ 20 μ и, слѣдовательно, занимаютъ 5 октавъ. Электрическія волны наблюдались длиною приблизительно до 4 миллиметровъ. Онѣ составляютъ середину между звуковыми колебаніями вѣсомыхъ тѣлъ и свѣтовыми колебаніями эѳира.

Опыты Тесла. Подъ вліяніемъ открытій Герца и стремясь извлечь изъ нихъ практическую пользу, электротехникъ Николай Тесла произвелъ очень интересные опыты съ токами большого числа перемѣнъ и высокаго напряженія; ихъ изумительные результаты произвели повсюду большой шумъ и явились предвозвѣстниками новой эры освѣщенія. Если направить перемѣнный токъ отъ динамомашины черезъ спираль и приблизить къ этой вторую спираль, содержащую калильную лампу, то лампа будетъ свѣтить

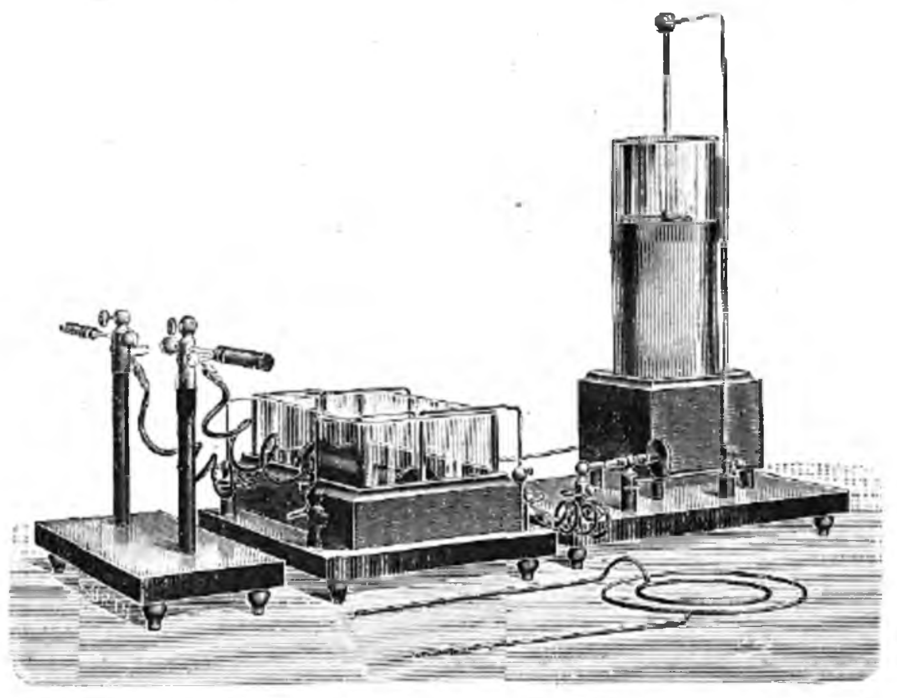
уже на нѣкоторо ъ разстояніи въ силу индукціи. Дѣйствіе это тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше число перемѣнъ тока, потому что со скоростью измѣненій первичнаго тока увеличивается не только число перемѣнъ, но и сила индукціонныхъ токовъ. Разрядъ Лейденской банки, какъ мы видѣли, даетъ, въ зависимости отъ ея емкости, приблизительно отъ ста тысячъ до милліона колебаній въ секунду. Тесла заряжаетъ поэтому батарею Лейденскихъ банокъ посредствомъ машины перемѣннаго тока и пускаетъ разрядные токи черезъ первичную спираль индуктора (трансформатора). Такимъ образомъ онъ получаетъ въ ней сильные токи большой частоты. Первичная спираль окружена вторичной, состоящей изъ тонкой тщательнымъ образомъ изолированной проволоки съ очень большимъ числомъ оборотовъ. Поэтому въ этой послѣдней являются токи очень высокаго напряженія и очень большой частоты. Способъ Тесла схематически изображенъ на рис. 748. Посредствомъ машины перемѣннаго тока или посредствомъ большой румкорфовой катушки, первичная спираль которой есть P, а вторичная S, заряжаются Лейденскія банки C, C, внутреннія обкладки которыхъ соединены съ обоими концами вторичной спирали S, а внѣшнія между собою посредствомъ содержащей въ себѣ искромѣръ a b вторичной спирали P_1 P_1 второго индуктора, который собственно и есть трансформаторъ Тесла. Его вторичная спираль S кончается двумя разрядными шарами K K, между которыми разряжаются перемѣнные токи очень высокаго напряженія и частоты. Вторичная спираль S имѣетъ еще искромѣръ A B, оба шара котораго покрыты пластинками изъ слюды M M для слѣдующей цѣли: при возбужденіи индуктора между A и B появляется Вольтова дуга, которая нагрѣваетъ воздухъ, находящійся между слюдяными пластинками; вслѣдствіе этого между ними возникаетъ воздушное теченіе, которое гаситъ Вольтову дугу вскорѣ послѣ ея появленія. При каждомъ прекращеніи дуги A B Лейденскія банки заряжаются и разряжаются у P_1 P_1, благодаря чему между K K получаются быстро вибрирующіе разряды, періодъ которыхъ пристирается до нѣсколькихъ сотенъ тысячъ колебаній въ секунду и можетъ возрасти до милліоновъ черезъ уменьшеніе емкости разрядной цѣпи. Обороты спиралей трансформатора должны быть тщательнѣйшимъ образомъ изолированы; обыкновенно ихъ укладываютъ въ ванну съ масломъ, изъ котораго воздухъ удаленъ помощью воздушнаго насоса. Болѣе простое и цѣлесообразное устройство представлено на рис. 749. Обѣ обкладки Лейденской банки соединены съ концами индуктора (не нарисованнаго) и такимъ образомъ могутъ заряжаться; разрядъ происходитъ черезъ посредство первичной спирали трансформатора, снабженной искромѣромъ.



748. Приборъ Тесла для токовъ большой частоты.

Съ помощью этого приспособленія могутъ быть вызваны очень интересныя явленія, въ особенности, красивѣйшіе свѣтовые эффекты. У электродныхъ шариковъ вторичной спирали трансформатора образуются синеватые пучкообразные разряды, испускающіе лучи во всѣ стороны, подобные разрядамъ съ остріевъ электрической машины; если приблизить другъ къ другу электродные шарики, то получается пламя въ видѣ дуги, состоящее изъ блестящихъ болѣе или менѣе толстыхъ свѣтовыхъ нитей; форма ея въ силь-

ной степени обусловливается тѣмъ воздушнымъ теченіемъ, который она сама вызываетъ; раздуваемая токомъ воздуха, она образуетъ великолѣпное свѣтовое явленіе. Если прикрѣпить къ одному электроду мѣдную проволоку, оканчивающуюся свободно въ воздухѣ, то по всей ея длинѣ перпендикулярно къ ней пойдутъ пучкообразные разряды; если же она, имѣя другую форму, напр. будучи составлена изъ буквъ, оканчивается на стеклянной пластинкѣ, нижняя часть которой, покрытая станіолемъ, соединена съ другимъ электродомъ, то эти буквы будутъ ясно видны въ фіолетовомъ пучкообразномъ свѣтѣ. Если соединить съ электродами двѣ проволоки и натянуть ихъ параллельно другъ къ другу, то получится великолѣпная фіолетовая



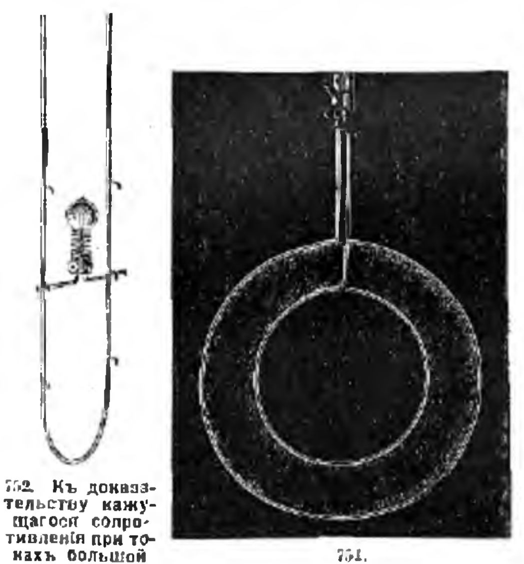
749. Приборъ для опытовъ Тесла.

свѣтовая лента, занимающая пространство между ними (рис. 750); подобнымъ же образомъ можно получить прекрасное фіолетовое свѣтовое кольцо между двумя параллельными проволочными кругами (рис. 751).

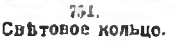
Одно изъ своеобразныхъ и на первый взглядъ удивительныхъ явленій, сопровождающихъ токи столь большой частоты, состоитъ въ слѣдующемъ: соединивъ съ обоими электродами вторичной спирали трансформатора толстую мѣдную дугу, между параллельными сторонами которой находится калильная лампа (рис. 752), достигаютъ свѣченія послѣдней. Токи Тесла идутъ здѣсь не черезъ мѣдную проволоку, но черезъ калильную лампу, хотя ея сопротивленіе значительно больше. Токъ постоянный или даже перемѣнный, но незначительной частоты не заставилъ бы лампу горѣть. Причина этого явленія лежитъ въ самоиндукціи (см. стр. 601) мѣдной проволоки, которая обнаруживается въ кажущемся увеличеніи сопротивленія и противодѣйствуетъ прохожденію тока. Съ увеличеніемъ частоты перемѣнныхъ токовъ увеличивается и сила экстра-токовъ. Если самоиндукція проволоки имѣетъ большую величину, то экстра-токи могутъ такъ ослабить главный токъ, что онъ не

въ состояніи будетъ итти черезъ проволоку и найдетъ себѣ болѣе удобный путь, напримѣръ, черезъ воздухъ. При токахъ высокой частоты, такимъ образомъ, дѣло не въ сопротивленіи, а въ самоиндукціи проводника.

Другое замѣчательное свойство токовъ Тесла это то, что они почти не производятъ на человѣческое тѣло физіологическихъ дѣйствій, или, по крайней мѣрѣ, вліяніе ихъ въ этомъ отношеніи незначительно, въ противоположность разряднымъ токамъ обыкновеннаго индуктора. Можно безъ всякаго вреда коснуться рукой электродовъ трансформатора и пропустить токи черезъ тѣло. Причина этого явленія, по всей вѣроятности, заключается въ томъ, что, какъ уже показалъ Герцъ, быстрыя электрическія колебанія распространяются только очень тонкимъ слоемъ по поверхности проводниковъ, не проникая внутрь ихъ. Французскій физіологъ д'Арсонваль подвердилъ это очень интереснымъ опытомъ, проведя токи Тесла по большой спирали кругомъ человѣка (рис. 753). При прикосновеніи ихъ испытывается легкое колющее ощущеніе, но какого-нибудь другого вліянія на нервную систему незамѣтно, такъ какъ токи не проникаютъ внутрь человѣческаго тѣла. Что токи всетаки являются и распространяются по поверхности тѣла, это д'Арсонваль доказалъ, надѣвъ на человѣка металлическій поясъ съ калильной лампой, причемъ лампа была доведена до горѣнія. Это обстоятельство согласуется съ воззрѣніями Фарадея - Максвелля и Герца, по которымъ электрическія явленія происходятъ въ діэлектрическихъ срединахъ, т.-е.: въ воздухѣ или въ наполняющемъ ихъ эѳирѣ, и распространяются въ нихъ волнообразно со скоростью свѣта, на долю же проводниковъ остается лишь задача заставлять электрическія колебанія распространяться вдоль ихъ поверхности и не разсѣиваться въ пространство. По современной теоріи, проводники и непроводники нѣкоторымъ образомъ мѣняютъ роли, которыя старое воззрѣніе имъ приписывало въ распространеніи электричества.



752. Къ доказательству кажущагося сопротивленія при токахъ большой частоты.



751. Свѣтовое кольцо.



750. Свѣтовыя полосы.

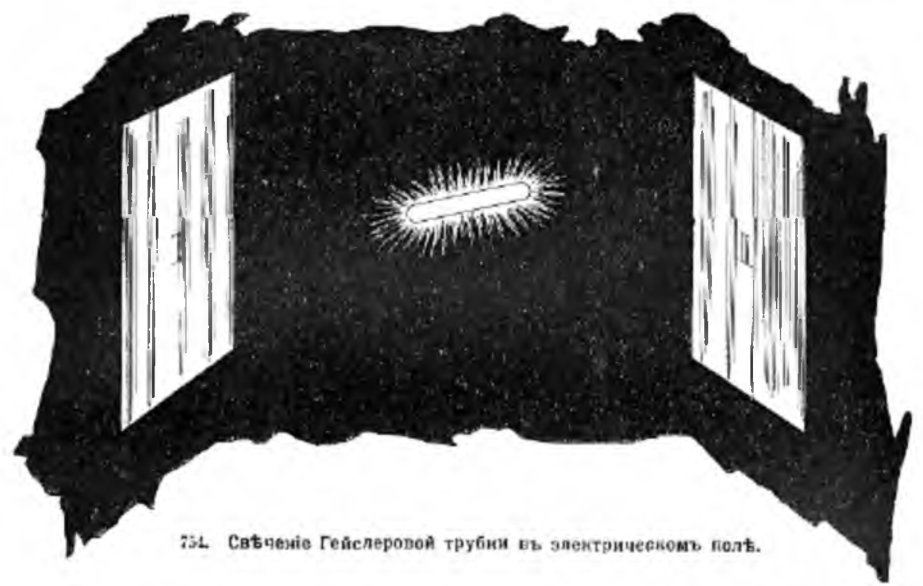
Практическое значеніе опытовъ Тесла, однако, состоитъ преимущественно въ томъ, что онъ, во-первыхъ, показалъ, какую массу электрической энергіи можно провести черезъ тонкія проволоки, и, во-вторыхъ, что онъ существенно упростилъ систему проводниковъ для электрическаго освѣщенія, указавъ на возможность обходиться безъ обратныхъ проводовъ и, слѣдовательно, работать съ незамкнутыми проводниками. Если дотронуться до одного изъ электродовъ трансформатора Гейслеровой трубкой или только приблизить къ нему, то она будетъ свѣтиться. Соединивъ съ обоими электродами трансформа-

тора двѣ большія металлическія пластинки и поставивъ ихъ одну противъ *другой, мы образуемъ между ними сильное электрическое поле, въ которомъ* Гейслеровы трубки будутъ свѣтиться, какъ съ электродами, такъ и безъ нихъ. Тесла произвелъ этотъ интересный опытъ въ большихъ размѣрахъ, повѣсивъ два большихъ изолированныхъ металлическихъ листа, соединенныхъ съ полюсами трансформатора, на двухъ противоположныхъ стѣнахъ комнаты. Посредствомъ *этого онъ получилъ сильное электрическое поле*, которое могло быть освѣщено простѣйшимъ способомъ, помѣщая Гейслерову трубку безъ всякаго проволочнаго соединенія въ любой его точкѣ (рис. 754).

753. Опытъ д'Арсонваля надъ физіологическимъ дѣйствіемъ токовъ Тесла.

Можно достигнуть той же цѣли, натянувъ на потолкѣ изолированную сѣть изъ нѣсколькихъ проволокъ и соединивъ ее съ однимъ изъ электродовъ трансформатора Тесла, между тѣмъ, какъ другой электродъ будетъ отведенъ въ землю. Тесла надѣется осуществить на основаніи этихъ принциповъ новый видъ электрическаго освѣщенія „свѣтъ будущаго“, который отличался бы отъ нынѣ употребляемаго электрическаго освѣщенія своею экономичностью, такъ какъ при нынѣшнемъ освѣщеніи только очень небольшая часть электрической энергіи обращается въ свѣтъ, большая же часть въ теплоту. Тесла устроилъ еще лампу, которая требуетъ только одну проволоку для проведенія въ нее электрической энергіи. Для этого въ ея стеклянную стѣнку запаяна внизу проволока, которая оканчивается угольной нитью, тогда какъ наверху стеклянная стѣнка покрыта станиолемъ *и снабжена металлическимъ* рефлекторомъ. Если послѣдній будетъ соединенъ съ однимъ изъ электродовъ трансформатора, то угольная нить раскаливается. Въ виду того, что уголь очень скоро распыляется, Тесла замѣнилъ его болѣе *твердымъ веществомъ, карборундомъ, то-есть соединеніемъ, состоящимъ изъ* угля и кремнія. Другая форма лампы Тесла представлена на рис. 755. Въ ея шейку h впаяна трубка r, кончающаяся шарикомъ K; шейка покрыта станіолемъ, который соединяется съ однимъ изъ полюсовъ трансформатора. Интенсивность даваемаго лампой свѣта, правда, незначительна; она свѣтитъ *слишкомъ слабо, чтобы можно было безвредно читать или писать при ней* продолжительное время. Поэтому мы еще очень далеки отъ осуществленія идей Тесла. Тѣмъ не менѣе, его опыты въ высшей степени интересны и многозначительны, такъ какъ открываютъ новыя точки зрѣнія и новые пути научному изслѣдованію и техникѣ освѣщенія.

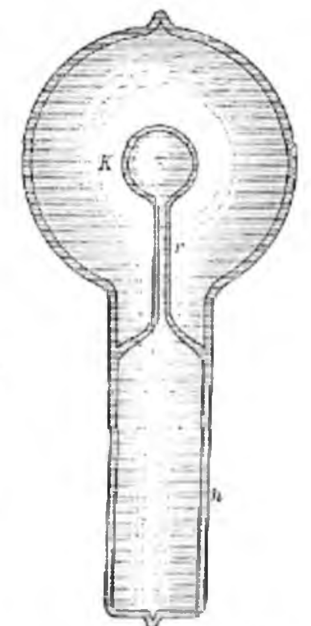
Въ заключеніе этой главы мы вкратцѣ скажемъ объ изобрѣтеніи, которое въ недавнее время съ полнымъ правомъ произвело столько шума, какъ въ научномъ, такъ и въ техническомъ мірѣ, и значеніе котораго



754. Свѣченіе Гейслеровой трубки въ электрическомъ полѣ.

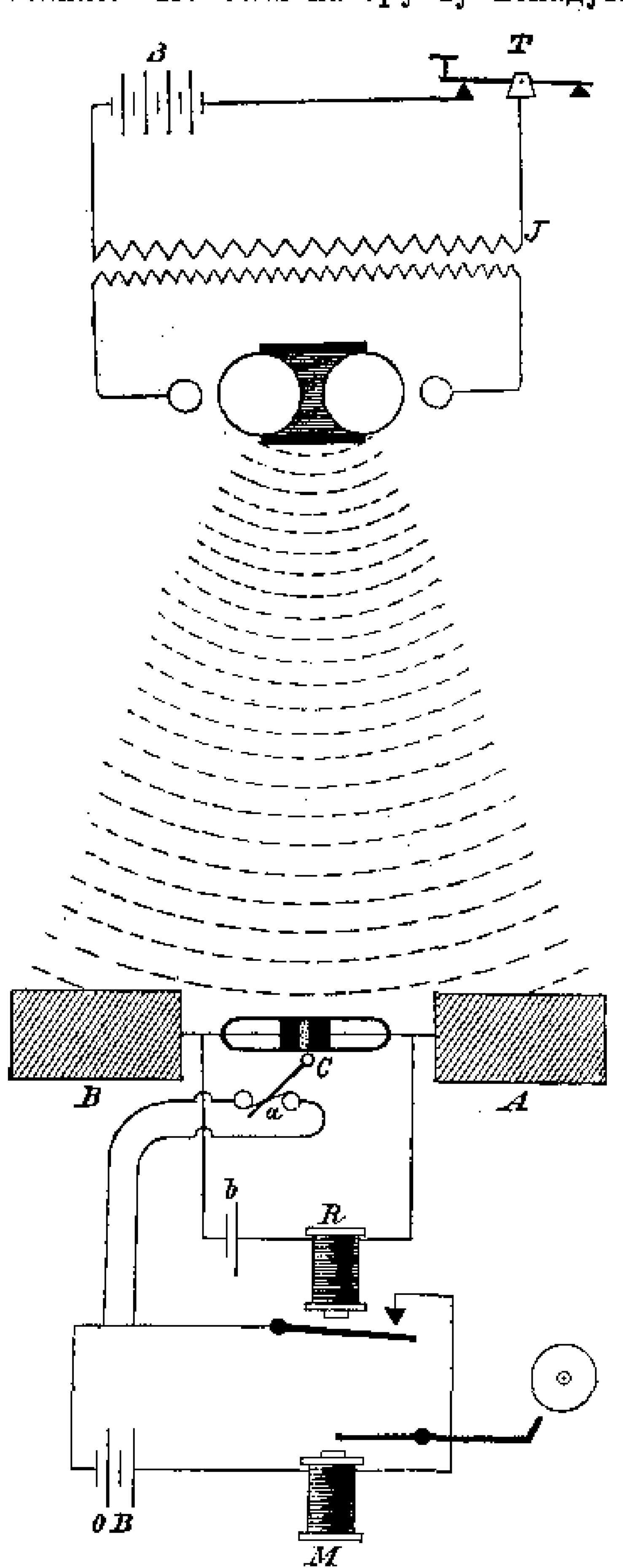
въ настоящее время не можетъ быть еще вполнѣ выяснено, именно: Изобрѣтеніе „телеграфированія безъ проводовъ" Маркони.

Основаніемъ для опытовъ Маркони, молодаго итальянскаго инженера, послужили также открытія Герца. Маркони пользуется Герцовыми колебаніями, какъ источникомъ энергіи, помѣщеннымъ на станціи, и онъ примѣняетъ тутъ приборъ профессора Риччи (рис. 756): на два металлическихъ шара, имѣющихъ около 10 сантиметровъ въ діаметрѣ, надвинутъ изолирующій, наполненный вазелиновымъ масломъ, цилиндръ такимъ образомъ, что шары между собою не соприкасаются и съ двухъ сторонъ выдаются изъ цилиндра своими половинами. Рядомъ съ этими большими шарами находятся два шара поменьше, соединенные съ концами вторичной спирали индуктора, дающаго искру въ 50 миллиметровъ. Всякій разъ, когда его первичный токъ замыкается выключателемъ T, между средними и крайними шарами проскакиваютъ искры, которыми вызываются электрическія колебанія (около 250 милліоновъ въ секунду); распространяются они перпендикулярно къ линіи соединенія двухъ среднихъ шаровъ (распространеніе ихъ можетъ быть изображено пунктирными дугами). Вмѣсто резонатора Герца Маркони употребляетъ другой аппаратъ съ необыкновенной чувствительностью и надежностью дѣйствія; принципъ его устройства открытъ французскимъ физикомъ Бранли, практически же примѣненъ впервые англичаниномъ Лоджемъ. Онъ состоитъ, въ главныхъ чертахъ, изъ стеклянной трубочки b, наполненной металлическими опилками или металлическимъ порошкомъ, въ которую съ обоихъ



755. Электрическая лампа Тесла.

концовъ вставлены проводники. Пластинки *A*, *B* первоначально служили для того, чтобы увеличить въ случаѣ надобности емкость. Электрическое сопротивленіе металлическаго порошка при обыкновенныхъ условіяхъ очень велико. Но если на трубку попадутъ электрическіе лучи, то частицы металлическаго порошка будутъ поляризованы, т.-е. онѣ расположатся между электродами своими осями въ одномъ направленіи и будутъ соприкасаться другъ съ другомъ, вслѣдствіе чего ихъ общее сопротивленіе чрезвычайно уменьшается, падая съ сотенъ тысячъ омовъ до весьма небольшого числа ихъ. Этотъ аппаратъ Лоджъ назвалъ вслѣдствіе происходящаго подъ вліяніемъ электрическихъ лучей сцѣпленія металлическихъ частицъ **когереромъ**; проводимость въ порошкѣ остается и по окончаніи освѣщенія электрическими лучами, причемъ въ первоначальное состояніе онъ приходитъ лишь черезъ механическое сотрясеніе трубки. Маркони вводитъ этотъ когереръ *C* въ цѣпь, образуемую изъ батареи *b* и чувствительнаго релэ *R* (рис. 756). Посредствомъ релэ можетъ быть замкнута и другая цѣпь, заключающая въ себѣ вторую батарею, такъ называемую мѣстную, *oB* и пишущій приборъ Морзе *M*. Пока когереръ не подвергся дѣйствію электрическихъ волнъ, его сопротивленіе такъ велико, что въ электрической цѣпи *CbR* релэ *R* вовсе не дѣйствуетъ. Послѣ освѣщенія сопротивленіе когерера падаетъ, сила тока возрастаетъ, релэ приводится въ дѣйствіе и замыкаетъ мѣстную электрическую цѣпь съ Морзевскимъ аппаратомъ. Въ этой послѣдней цѣпи есть еще прерыватель *a* съ молоточкомъ, на подобіе электрическаго звонка, который при прекращеніи освѣщенія тихо ударяетъ по когереру; вслѣдствіе сотрясенія послѣдняго сопротивленіе его снова увеличивается, чѣмъ освобождается релэ *R* и прерывается мѣстная электрическая цѣпь. Это повторяется при возобновленіи освѣщенія, и такимъ образомъ ясно, что, благодаря прерывающемуся и болѣе или менѣе продолжающемуся освѣщенію, могутъ быть получены знаки Морзевскаго алфавита.



756. **Приборъ Маркони для телеграфированія безъ проволоки.**

Когереръ *C* состоитъ изъ трубочки длиною въ 4 сантиметра и шириною въ 2—3 миллиметра, въ которой разрѣженіе воздуха доведено до давленія всего въ нѣсколько миллиметровъ; въ ней помѣщены другъ противъ друга

на разстоянии 0,5 миллиметра два серебряныхъ, слегка амальгамированныхъ электрода. Промежутокъ между ними заполненъ смѣсью изъ остроугольныхъ и остроконечныхъ зернышекъ металлическаго порошка (состоящаго приблизительно изъ 96% никкеля и 4% серебра).

Первоначально Маркони производилъ опыты въ обширныхъ размѣрахъ по порученію англійскаго телеграфнаго управленія при участіи его главнаго инженера Приса и съ успѣхомъ телеграфировалъ между Пенерсомъ и Брииъ Доуномъ черезъ Бристольскій каналъ на разстояніи въ 4½ километра. При этихъ опытахъ обнаружилось, что успѣхъ, а именно возможность телеграфировать на большія разстоянія черезъ скалы, горы и лѣса, обусловливается, главнымъ образомъ, соединеніемъ аппаратовъ съ землей, а также употребленіемъ длинныхъ вертикально расположенныхъ проводниковъ, именно, одинъ полюсъ лучеиспускающаго аппарата снабжаютъ по возможности длинной вертикально натянутой и хорошо изолированной проволокой, а другой полюсъ отведенъ въ землю; такое же приспособленіе имѣетъ и пріемникъ. Позднѣе, Маркони произвелъ свои опыты въ Специи при поддержкѣ итальянскаго морского вѣдомства и имѣлъ возможность телеграфировать между лежащими вблизи островами на разстояніи до 7 километровъ, а въ открытомъ морѣ до 18 километровъ. Въ недавнее время въ Германіи были произведены опыты еще въ большихъ размѣрахъ профессоромъ Слаби, причемъ опять выяснилось, что преодолѣніе большихъ разстояній черезъ междулежащія препятствія дѣлается возможнымъ, благодаря примѣненію возможно и притомъ одинаково длинныхъ, вертикально натянутыхъ и хорошо изолированныхъ воздушныхъ проводовъ. Проф. Слаби, при помощи воздушныхъ проводниковъ длиною въ 26 метровъ, имѣлъ возможность телеграфировать на разстояніе 1,6 километра на Гавельскихъ озерахъ близъ Потсдама, при помощи проводниковъ въ 65 метровъ на разстояніе 3,1 километра черезъ лежащія на пути препятствія; наконецъ, при опытахъ, произведенныхъ у Берлина при содѣйствіи воздухоплавательнаго парка, онъ достигъ того, что съ вѣрностью могъ передавать телеграммы на разстояніе 21 километра черезъ открытое поле, имѣя проводники въ 300 метровъ длиною. Такимъ образомъ, также и это новѣйшее остроумное примѣненіе на практикѣ открытія Герца подаетъ самыя блестящія надежды, въ особенности для морскихъ и военныхъ цѣлей. (Первые опыты телеграфированія безъ проводовъ были сдѣланы въ Россіи А. С. Поповымъ.)

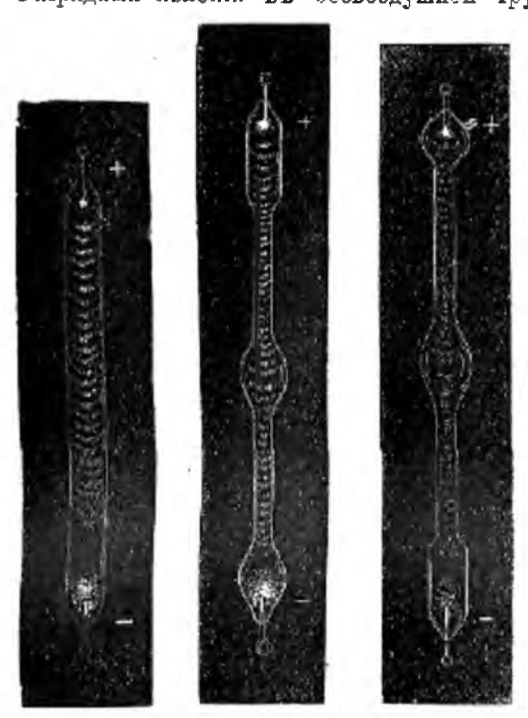


757. Электрическое яйцо.

Прохожденіе электричества черезъ разрѣженные газы. Катодные лучи. Рентгеновскіе лучи.

Если производить разряды электрической машины или индуктора вмѣсто обыкновеннаго воздуха въ разрѣженномъ, напр. между шарами такъ называемаго электрическаго яйца (рис. 757), то вмѣстѣ съ разрѣженіемъ воздуха увеличивается и длина искръ, пока давленіе не станетъ равнымъ около 7 миллиметровъ ртутнаго столба; тогда разряды въ видѣ искръ совершенно прекращаются, и яйцо наполняется потоками розоваго свѣта, происходящихъ отъ азота воздуха. Каждый газъ въ разрѣженномъ состояніи даетъ свѣтъ опредѣленной, ему свойственной окраски и при разложеніи призмой образуетъ опредѣленный для него характерный спектръ. Въ отдѣлѣ „о свѣтѣ“

(стр. 340) мы уже видѣли, какимъ образомъ могутъ быть изслѣдованы съ помощью безвоздушной или Гейслерской трубки спектры газовъ и паровъ. Разрядныя явленія въ безвоздушной трубкѣ были впервые изучены французскимъ физикомъ Гассіо (1854), а вскорѣ послѣ того обстоятельнѣйшимъ образомъ нѣмецкимъ физикомъ Плюкеромъ въ Боннѣ. При разрѣженіи около 1—2 миллиметровъ свѣтъ, какъ наблюдали сперва Грове и за нимъ Румкорфъ, является раздѣленнымъ на слои, т.-е. являющійся между электродами и наполняющій всю трубку фіолетовый и розовый свѣтъ раздѣляется темными промежутками, перпендикулярными къ направленію разряда (рис. 758); число этихъ промежутковъ съ

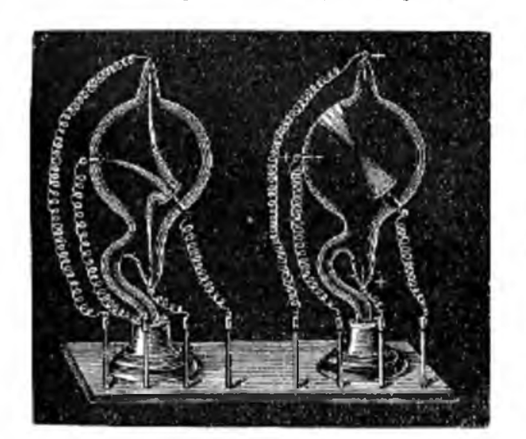


758. Явленіе слоистаго свѣта.



759. Круксова трубка.

увеличеніемъ разрѣженія уменьшается. Далѣе обнаруживается, что свѣтъ (для трубокъ, наполненныхъ воздухомъ, фіолетовый) исходитъ изъ положительнаго электрода (анода) и продолжается черезъ всю трубку, какой бы



760. Фокусныя точки катодныхъ лучей.



761. Тепловое дѣйствіе катодныхъ лучей.



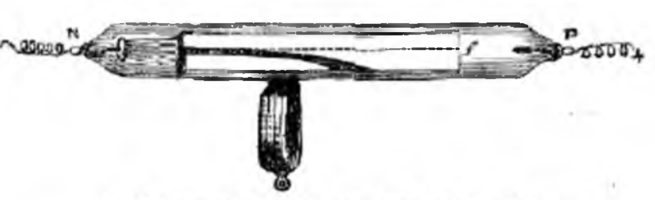
762. Флюоресценція подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей.

формы она ни была, почти до отрицательнаго электрода (катода), но отдѣляется отъ него все-таки темнымъ промежуткомъ, между тѣмъ какъ самъ катодъ по всей своей длинѣ является окруженнымъ сіяніемъ синеватаго цвѣта, такъ называемымъ отрицательнымъ свѣтомъ. Если продолжать раз-

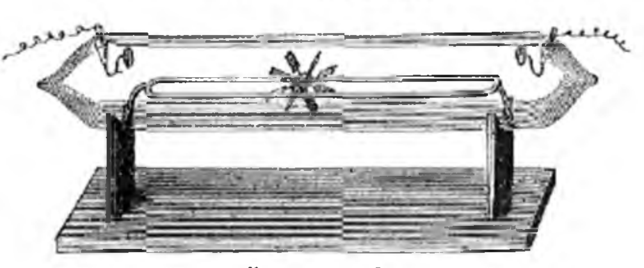
рѣженіе, то темный промежутокъ передъ катодомъ расширяется по направленію къ аноду, такъ что свѣтъ этого послѣдняго постепенно оттѣсняется на все меньшее и меньшее пространство. Можно довести разрѣженіе до такой степени, что останется только минимальное количество свѣта положительнаго электрода, и темный промежутокъ передъ катодомъ заполнитъ почти всю трубку. При столь высокой степени разрѣженія отъ катода, какъ впервые замѣтилъ это Гитторфъ въ Мюнстерѣ, исходятъ лучи, такъ называемые катодные, обладающіе своеобразной способностью — вызывать въ стеклянной стѣнкѣ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ они падаютъ на нее, флюоресценцію желтовато-зеленаго цвѣта. Эти катодные лучи, надъ которыми послѣ Гитторфа работали въ Англіи Круксъ, въ Германіи физики Гольдштейнъ, Э. Видеманъ, Эбертъ, Герцъ, Ленаръ и др., пріобрѣли въ послѣднее время, вслѣдствіе открытія Рентгена, особую важность и интересъ, такъ что мы разсмотримъ нѣкоторыя ихъ свойства. Прежде всего они, какъ замѣчено, появляются только, когда разрѣженіе достигло необыкновенно высокой степени, около 0,001 миллиметра давленія. Они распространяются прямолинейно и перпендикулярно къ поверхности катода. Это блестящимъ образомъ можно доказать съ помощью представленной на рис. 759 трубки, устроенной Круксомъ. Лучи, исходящіе отъ катода *a*, вызываютъ флюоресценцію въ противолежащей стѣнкѣ вездѣ, гдѣ только они на нее падаютъ. Если теперь на пути катодныхъ лучей помѣстить непрозрачное тѣло, напр. платиновый крестъ, то они будутъ перехвачены крестомъ, и послѣдній будетъ бросать рѣзкую тѣнь на стеклянную стѣнку, такъ что мы увидимъ на ней темный крестъ на желтовато-зеленомъ фонѣ. Если катодомъ избрать сферическое вогнутое платиновое зеркальце (рис. 760, справа), то катодные лучи, исходящіе отъ него нормально, все равно какой изъ трехъ электродовъ, обозначенныхъ знакомъ +, ни принять анодомъ, соединяются въ фокусѣ этого зеркала и затѣмъ снова расходятся. Напротивъ, если платиновое зеркало избрать анодомъ, то получится распредѣленіе свѣта, изображенное на лѣвой сторонѣ рисунка. Помѣщенная въ фокусѣ зеркала металлическая пластинка нагрѣвается катодными лучами до каленія и можетъ быть доведена до плавленія при достаточно сильномъ токѣ (рис. 761). Также и тѣ мѣста стеклянной стѣнки, на которыя падаютъ катодные лучи, нагрѣваются до такой степени, что могутъ размягчиться и лопнуть вслѣдствіе




763 и 764. Безвоздушныя трубки съ солью Sidot.



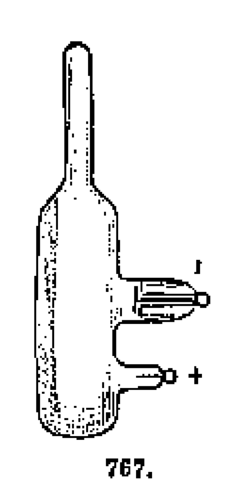
765. Отклоняемость катодныхъ лучей магнитомъ.



766. Круксова трубка.

внѣшняго воздушнаго давленія. Не только стеклянныя стѣнки безвоздушной трубки, но и находящіеся внутри ея минералы флюоресцирують, если подвергнутся дѣйствію катодныхъ лучей. Круксъ устроилъ трубки, содержащія куски шпата, мѣла, кремневокислаго цинка, коралла, мрамора и т. д., которые подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей, флюоресцировали каждый соотвѣтствующимъ природѣ его цвѣтомъ и давали великолѣпные свѣтовые эффекты (рис. 762). Особенно выдѣляется въ этомъ отношеніи обманка Сидо, которая флюоресцируеть весьма сильнымъ великолѣпнымъ свѣтло-зеленымъ свѣтомъ. Рис. 763 и 764 представляютъ двѣ безвоздушныя трубки съ такою солью, одна безъ электродовъ, другая съ ними.

Слѣдующая особенность катодныхъ лучей — это ихъ отклоняемость магнитомъ. Если двигать магнитъ около стеклянной стѣнки безвоздушной трубки, подвергающейся дѣйствію катодныхъ лучей, то флюоресцирующее свѣтлое пятно будетъ слѣдовать за движеніями магнита (рис. 765). Генрихъ Герцъ нашелъ, что можно различать разные виды катодныхъ лучей, съ различной силой отклоняемости магнитомъ, подобно тому, какъ и свѣтовые лучи различнаго цвѣта различно отклоняются призмой. Также и электростатическія вліянія, напр. прикосновеніе пальцемъ и движеніе его вдоль безвоздушной трубки, вызываютъ отклоненіе катодныхъ лучей. Что катодные лучи могутъ произвести также и механическія движенія, обнаруживается съ помощью представленной на рис. 766 Круксовой трубки, въ которой легкое колесико съ крыльями, будучи подвергнуто дѣйствію катодныхъ лучей, начинаетъ двигаться на двухъ параллельныхъ стеклянныхъ рельсахъ впередъ или назадъ по направленію падающихъ на него лучей.



767.

Другое интересное наблюденіе, сдѣланное Гольдштейномъ, состоитъ въ томъ, что подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей галоидныя соли щелочныхъ металловъ получаютъ очень интенсивную окраску, но что эта окраска, если подвергнуть ее дѣйствію нагрѣванія, снова исчезаетъ. Съ помощью трубки (рис. 767) это можетъ быть легко доказано; она содержитъ чистый хлористый калій или хлористый натрій, который, при освѣщеніи его катодными лучами, принимаетъ интенсивный коричневый или фіолетовый цвѣтъ, который исчезаетъ при нагрѣваніи лампой Бунзена.

Причина этого явленія коренится, вѣроятно, въ фотохимическомъ разложеніи, причемъ электро-отрицательный хлоръ удаляется изъ соли. Еще одно свойство катодныхъ лучей, которое составило исходный пунктъ новѣйшаго, замѣчательнѣйшаго и важнѣйшаго въ этой области открытія, найдено опять-таки Генрихомъ **Герцомъ**. Его прекрасные опыты, посвященные катоднымъ лучамъ, между прочимъ, обнаружили, что тонкіе слои металловъ, поглощающихъ совершенно свѣтовые лучи, могутъ быть проницаемыми для катодныхъ лучей, между тѣмъ какъ, съ другой стороны, прозрачныя вещества оказались совершенно непроницаемыми для катодныхъ лучей. Основываясь на открытіи Герца, Ф. **Ленаръ** вставилъ въ стеклянную стѣнку безвоздушной трубки маленькія, тонкія полоски алюминія. Ему удалось возникшіе въ трубкѣ катодные лучи пропустить черезъ алюминіевое окно въ атмосферу и указать ихъ дальнѣйшее въ ней существованіе и образъ дѣйствія.

Рентгеновскіе лучи. Вотъ въ какой степени подвинулись впередъ изслѣдованія, изложенныя на предыдущихъ страницахъ, и стали извѣстными ученому міру; тѣмъ не менѣе если мы теперь, располагая новыми фактами, оглянемся назадъ на ходъ развитія науки, насъ поразитъ, что въ продолженіе многихъ лѣтъ оставляли здѣсь безъ вниманія одинъ путь изслѣдованія,

который кратчайшимъ образомъ велъ къ новымъ открытіямъ. Наконецъ только незадолго до конца 1895 г., благодаря счастливому случаю, по этому пути направился В. К. Рентгенъ, проницательностью и искусствомъ котораго была открыта новая область изслѣдованія непредвидѣнной глубины.

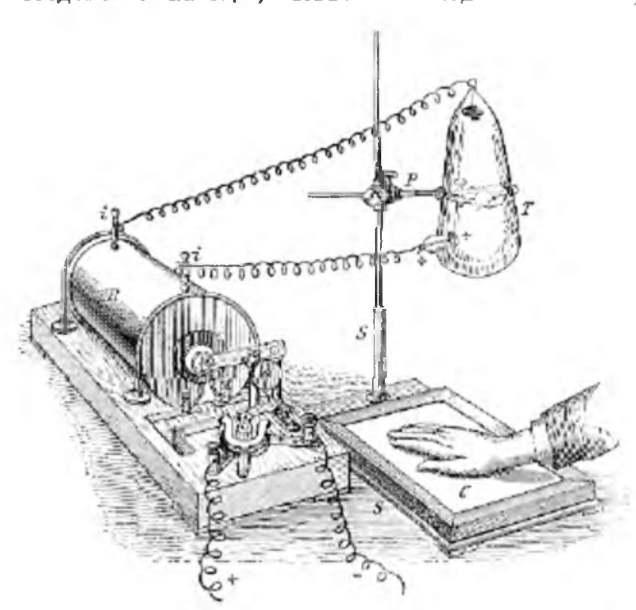
Въ своемъ предварительномъ сообщеніи „О новомъ видѣ лучей", впервые опубликованномъ въ отчетахъ засѣданій Вюрцбургскаго физико-медицинскаго общества въ декабрѣ 1895 и затѣмъ получившемъ столь громкую извѣстность, онъ извѣщаетъ о своемъ открытіи, произведшемъ ошеломляющее впечатлѣніе не только на физиковъ, но и на всѣхъ образованныхъ людей всего міра. Вѣдь, получилась возможность заглянуть внутрь непрозрачныхъ тѣлъ, видѣть сквозь эти тѣла! Онъ открылъ, что, если въ совершенно



768. Вил. Конр. Рентгенъ,
профессоръ физики Вюрцбургскаго университета.

темной комнатѣ производить разряды индукціонной катушки Румкорфа въ безвоздушной трубкѣ, покрытой чернымъ картономъ, не пропускающимъ ни видимыхъ, ни ультра-фіолетовыхъ лучей солнечнаго свѣта или вольтовой дуги, то находящійся въ нѣсколькихъ метрахъ отъ трубки бумажный экранъ, покрытый платиново-синеродистымъ баріемъ, при каждомъ разрядѣ будетъ ярко свѣтиться, флюоресцировать. Свѣченіе происходитъ и въ томъ случаѣ, если между экраномъ и черным картономъ держать книгу въ 1000 страницъ, доску толщиною въ нѣсколько сантиметровъ, толстую эбонитовую пластинку. Исходящіе изъ безвоздушной трубки лучи—Рентгенъ предложилъ обозначить X-лучами, но теперь всѣ называютъ ихъ Рентгеновскими — также безпрепятственно проникаютъ черезъ стекло. Главнымъ исходнымъ мѣстомъ распространяющихся по всѣмъ направленіямъ лучей нужно считать флюоресцирующую, т.-е. подвергнутую дѣйствію катодныхъ лучей стеклянную стѣнку трубки. Если отклонить посредствомъ магнита катодные лучи внутри трубки къ другому мѣсту, то Рентгеновскіе лучи будутъ исходить теперь отъ этого послѣдняго. Металлы, каковы алюминій, мѣдь, серебро, золото,

платина, олово, цинкъ, свинецъ, также пропускаютъ въ тонкихъ слояхъ Рентгеновскіе лучи, болѣе всѣхъ — алюминій, менѣе всѣхъ — свинецъ. Чѣмъ больше толщина тѣлъ, тѣмъ они менѣе проницаемы, при равной толщинѣ проницаемость различныхъ тѣлъ зависитъ въ общемъ отъ ихъ плотности; однако, плотность не имѣетъ единственно рѣшающаго значенія. Изъ четырехъ одинаково толстыхъ пластинокъ изъ алюминія, стекла, кварца и известковаго шпата, имѣющихъ одинаковый удѣльный вѣсъ, пластинка изъ известковаго шпата оказалась значительно менѣе проницаемой, нежели три другія, которыя обнаружили приблизительно равную проницаемость.



769. Фотографическій снимокъ руки при помощи Рентгеновскихъ лучей.

Кромѣ платиново-синеродистаго барія, еще другія вещества, напримѣръ, соединенія кальція, извѣстныя подъ именемъ фосфора, урановое стекло, известковый шпатъ и т. д., могутъ флюоресцировать подъ *вліяніемъ* Рентгеновскихъ лучей. Особенное значеніе имѣетъ тотъ фактъ, что фотографическія сухія пластинки оказались чувствительными къ Рентгеновскимъ лучамъ. Такъ какъ послѣднія свободно проникаютъ черезъ бумагу и дерево, то фотографическая пластинка въ черной бумажной обложкѣ или кассетѣ можетъ быть освѣщена Рентгеновскими лучами даже въ свѣтлой комнатѣ и такимъ образомъ съ предметовъ, находящихся между пластинкой и безвоздушной трубкой, могутъ быть получены тѣневые рисунки, при помощи которыхъ, если пластинка будетъ проявлена обыкновеннымъ способомъ, можно фиксировать изображеніе. Тутъ какъ разъ приходится кстати только-что указанное свойство лучей, именно, что ихъ прозрачность обусловливается существенно плотностью тѣлъ, и что поэтому разница въ плотности отдѣльныхъ частей снятаго предмета указываетъ также на разницу въ ихъ прозрачности. Въ самомъ дѣлѣ, только благодаря этому обстоятельству, удалось Рентгену получить фотографическіе снимки: тѣни очертаній двери, раздѣлявшей двѣ комнаты, изъ которыхъ въ одной былъ поставленъ аппаратъ, а въ другой фотографическая пластинка, тѣни гирь, находившихся въ деревянномъ ящичкѣ, намотанной на деревянную катушку проволоки, куска металла, неоднородность котораго была обнаружена посредствомъ X-лучей, костей руки, которыя вслѣдствіе ихъ значительно меньшей прозрачности кажутся гораздо болѣе темными, нежели мякоть руки.

Рис. 769 представляетъ расположеніе приборовъ для снимка руки. Рука лежитъ на закрытой кассетѣ, которая содержитъ въ себѣ фотографическую пластинку (положенную чувствительной стороной кверху). Надъ нею находится безвоздушная трубка, соединенная съ вторичною спиралью индукціоннаго аппарата такимъ образомъ, что ея нижняя стеклянная поверхность

подвергается дѣйствію катодныхъ лучей и, слѣдовательно, являются исходнымъ мѣстомъ дѣйствующихъ на руку X-лучей.

Мысль Рентгена снять именно человѣческую руку — одна изъ самыхъ счастливыхъ и плодотворныхъ. Кто знаетъ, вызвало ли бы его открытіе безъ этого опыта тотъ всеобщій интересъ и ту огромную популярность, которыя оно съ полнымъ правомъ тотчасъ же пріобрѣло и которыми оно пользуется въ неменьшей мѣрѣ и теперь еще! Во всѣхъ физическихъ, электротехническихъ и медицинскихъ учрежденіяхъ, во всѣхъ клиникахъ, во всѣхъ школахъ съ величайшимъ усердіемъ стремились воспроизвести этотъ опытъ; не только ученые журналы, но и всѣ политическія нѣмецкія и заграничныя газеты ежедневно стали помѣщать статьи, замѣтки и извѣстія о томъ, что тамъ-то опыты съ X-лучами увѣнчались успѣхомъ; весь образованный міръ ждалъ и внимательно слѣдилъ за извѣстіями такого рода. Причина, почему въ первое время многіе опыты не давали удовлетворительныхъ результатовъ, заключалась въ трудностяхъ получить вполнѣ приспособленныя къ опыту безвоздушныя трубки. Спросъ на нихъ и на флуоресцирующіе экраны появился слишкомъ внезапно и повсемѣстно, чтобы можно было удовлетворить ему. Но вскорѣ стали приходить извѣстіе за извѣстіемъ, подтверждавшія блестящимъ образомъ опыты Рентгена.



770. Рентгеновскій снимокъ коробки съ игрушками.

На рис. 770 представленъ снимокъ игрушечнаго артиллериста на лошади, сдѣланнаго изъ металла, находящагося въ закрытой деревянной коробкѣ, на рис. 771 — снимокъ курицы, на рис. 772 — налѣво — снимокъ правой нормальной (съ кольцомъ на среднемъ пальцѣ) руки одиннадцатилѣтней дѣвочки, на которомъ легко можно разобрать отдѣльныя кистевыя и пястныя кости такъ же, какъ и суставы пальцевъ, справа — уродливая отъ рожденія лѣвая рука той же дѣвочки, на которой нѣтъ нѣсколькихъ кистевыхъ костей, и можно видѣть лишь одну расширенную пястевую кость, которая соединяется прямо съ суставами большого и указательнаго пальцевъ.

Рентгенъ не ограничился изслѣдованіемъ способности X-лучей проходить чрезъ различныя тѣла, но изучилъ также ихъ другія физическія свойства въ сопоставленіи съ обыкновенными свѣтовыми лучами. Прежде всего онъ постарался опредѣлить, преломляются ли они при прохожденіи черезъ призму. Опыты съ водой и сѣрнымъ углеродомъ въ призмахъ слюды съ

преломляющимъ угломъ въ 30° дали отрицательные результаты; взявъ призмы изъ роговаго каучука и алюминія, онъ получилъ на фотографической пластинкѣ небольшое отклоненіе, но не вполнѣ увѣренъ въ истинности его и опредѣляетъ, если только отклоненіе вообще было, показатель преломленія X-лучей въ этихъ веществахъ самое большее въ 1,05. Отсюда слѣдуетъ, что X-лучи нельзя концентрировать при помощи чечевицеобразнаго стекла, какъ это подтвердилъ опытъ съ линзами изъ роговаго каучука и стекла. Дальше Рентгенъ нашелъ, что не происходитъ замѣтнаго, правильнаго отраженія X-лучей и что тѣла находятся въ такомъ же положеніи относительно X-лучей, какъ туманныя мутныя средины относительно свѣта. Нельзя было также доказать явлений интерференціи и поляризаціи. Далѣе X-лучей нельзя отклонить магнитомъ, въ то время какъ это можно сдѣлать болѣе или менѣе съ катодными лучами. Изъ отношенія предметовъ къ X-лучамъ и вышеупомянутыхъ отрицательныхъ свойствъ Рентгенъ выноситъ убѣжденіе, что X-лучи нетождественны съ ультрафіолетовыми и также нетождественны съ катодными лучами, но что они возникаютъ отъ послѣднихъ въ стеклянной стѣнкѣ и также въ металлическихъ частяхъ безвоздушной трубки, и онъ высказываетъ предположеніе, что въ то время, какъ обыкновенный свѣтъ представляетъ собою поперечныя колебанія эѳира, X-лучи, можетъ-быть, можно приписать продольнымъ эѳирнымъ колебаніямъ, которыя происходятъ въ направленіи распространенія лучей, подобно звуковымъ колебаніямъ въ воздухѣ.



771. Фотографическій снимокъ курицы при помощи рентгеновскихъ лучей.

Съ тѣхъ поръ, какъ стали извѣстны Рентгеновскіе лучи, о нихъ были написаны и изданы безчисленныя работы; возникла огромная литература въ этой области, и появились многіе журналы, трактующіе исключительно объ этой отрасли знанія. И все-таки то, что мы теперь знаемъ о качествахъ и природѣ Рентгеновскихъ лучей, немного превышаетъ то, что Рентгенъ сообщилъ намъ еще въ своей первой работѣ. Только въ техникѣ Рентгеновскаго открытія, въ практическомъ примѣненіи Рентгеновскихъ лучей можно отмѣтить существенные успѣхи и усовершенствованія въ инструментахъ и аппаратахъ для наблюденія при помощи флюоресцирующаго экрана и для фотографированія, достигнутые совмѣстной работой физиковъ, химиковъ, врачей, электротехниковъ, фотографовъ и оптиковъ.

Естественно, что самый большой интересъ къ практическому примѣненію Рентгеновскихъ лучей выказала съ самаго начала медицина не только для хирургически-діагностическихъ цѣлей, чтобы отыскивать въ человѣческомъ

тѣлѣ посторонніе предметы, пули и т. д., но также для внутренняго лѣченія съ тѣхъ поръ, какъ удалось получить ясныя изображенія внутреннихъ органовъ, грудобрюшной преграды, печени, легкихъ, сердца и большихъ или меньшихъ частей желудка, смотря по количеству находящагося въ нихъ воздуха, слѣдить за движеніемъ грудобрюшной преграды при дыханіи и сердца, а также распознавать патологическое состояніе внутреннихъ органовъ, склерозъ и т. д. Сообразно съ этимъ, лучшія больницы снабжены теперь Рентгеновскими аппаратами; для изслѣдованія Рентгеновскихъ лучей правительствомъ устроены лабораторіи, которыя находятся въ тѣсной связи съ клиниками.

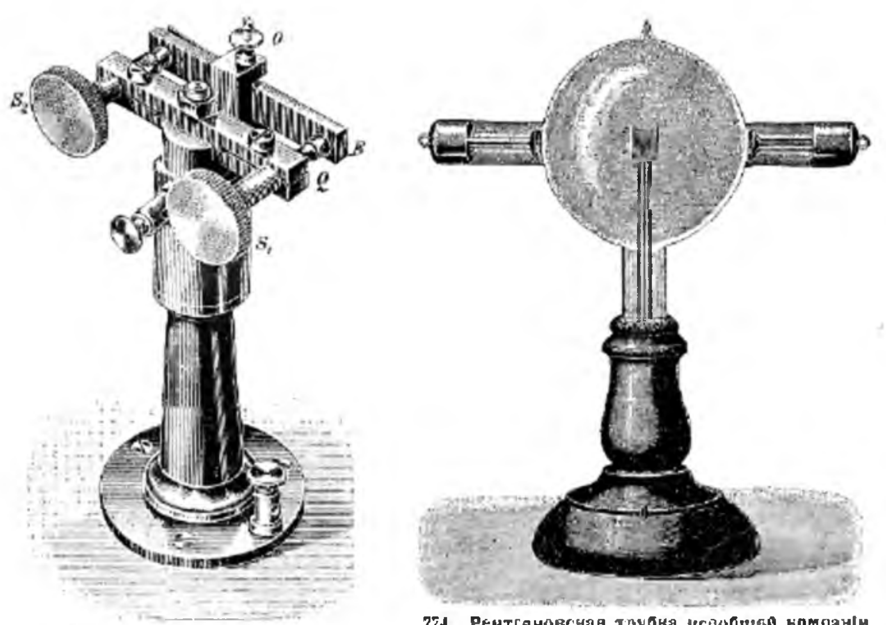
Мы скажемъ въ немногихъ словахъ о необходимыхъ инструментахъ и аппаратахъ для такихъ изслѣдованій.



772. Фотографическій снимокъ нормальной руки съ кольцомъ и уродливой руки, сдѣланный при помощи рентгеновскихъ лучей.

Прежде всего, что касается до индукторовъ, приводящихъ въ дѣйствіе безвоздушную трубку, то образцы, описанные на стр. 603 и 604, удовлетворяютъ самымъ строгимъ требованіямъ; индукторы съ искрами въ 100 сантим. требуются только въ рѣдкихъ случаяхъ; при настоящемъ состояніи производства безвоздушныхъ трубокъ вполнѣ достаточны индукторы съ искрами въ 50, а большею частью даже въ 20—25 сант., какъ для непосредственнаго разсмотрѣнія тѣлъ, такъ и для снимковъ. Для полученія отчетливаго рѣзкоочерченнаго изображенія особенно важно спокойное, ровное и быстрое дѣйствіе прерывателя первичнаго тока. Для фотографированія годится возбужденіе индуктора посредствомъ ртутнаго прерывателя съ электромоторомъ (см. стр. 604), гдѣ могущія случиться колебанія въ числѣ оборотовъ, которыя могутъ быть причиною уменьшеніемъ напряженія или какого-либо рода треніемъ и которыя вліяютъ на продолжительность экспозиціи, тотчасъ указываются тахометромъ. Для наблюденія съ экраномъ наиболѣе часто употребляется прерыватель Депре, который доставляетъ очень ровный свѣтъ вслѣдствіе весьма скорыхъ прерываній. Онъ представленъ на рис. 773. Одинъ конецъ вращающейся на оси O пластинки E, состоящій изъ мягкаго желѣза, помѣщенъ въ качествѣ якоря противъ пучка желѣзныхъ проволокъ первичной спирали и, если это желѣзо намагничено, притягивается имъ; этимъ прерывается при Q первичный токъ, проходящій черезъ винтъ S, и кусокъ желѣза къ спирали, между тѣмъ какъ соприкосновеніе возстановляется сильной пружиной, которая винтомъ S_2 мо-

жетъ быть натянута болѣе или менѣе. Наибольшее значеніе для полученія хорошихъ опытовъ просвѣчиванія и фотографированія имѣетъ безвоздушная трубка, которая поэтому въ послѣдніе 2 года подверглась различнымъ измѣненіямъ и улучшеніямъ. Оказалось цѣлесообразнымъ избрать исходнымъ мѣстомъ для рентгеновскихъ лучей не только стеклянную стѣнку трубки, но находящуюся внутри ея платиновую пластинку, послѣ того какъ Рентгенъ показалъ, что она приводится въ состояніе флюоресценціи и испускаетъ X-лучи, если только будетъ подвергнута дѣйствію катодныхъ лучей. Далѣе для полученія отчетливыхъ фотографическихъ изображеній удобно, чтобы Рентгеновскіе лучи исходили не отъ поверхности, но по возможности отъ одной точки, что можетъ быть достигнуто такимъ образомъ: катоду придаютъ форму маленькаго вогнутаго зеркала и въ его фокусѣ помѣщаютъ



773. Прерыватель Депре.

774. Рентгеновская трубка всеобщей компаніи электричества.

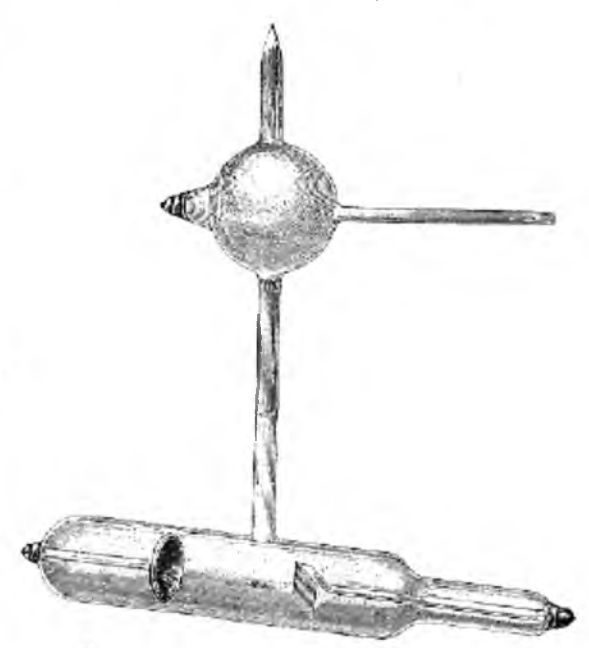
платиновую пластинку, такъ называемый антикатодъ, лучше всего подъ угломъ 45° къ оси трубки.

Рис. 774 изображаетъ трубку, устроенную на основаніи этого принципа Всеобщею компаніею электричества, въ которой оба боковые электрода имѣютъ форму части шаровой вогнутой поверхности, чтобы попеременно служить катодами, между тѣмъ какъ средній электродъ представляетъ антикатодъ, распространяющій X-лучи.

Другое немаловажное усовершенствованіе безвоздушныхъ трубокъ состоитъ въ томъ, что можно регулировать давленіе въ нихъ, именно эти трубки часто перестаютъ дѣйствовать вслѣдствіе происходящаго въ нихъ во время дѣйствія измѣненія давленія. Черезъ нагрѣваніе стѣнки дѣйствіемъ катодныхъ лучей прилегающій къ стеклу слой воздуха освобождается, между тѣмъ какъ вслѣдствіе распыленія электродовъ онъ сгущается въ образовавшейся пыли. Отъ этого въ трубкѣ давленіе воздуха то возрастаетъ, то падаетъ, и при слишкомъ большомъ давленіи дѣйствіе трубки прекращается.

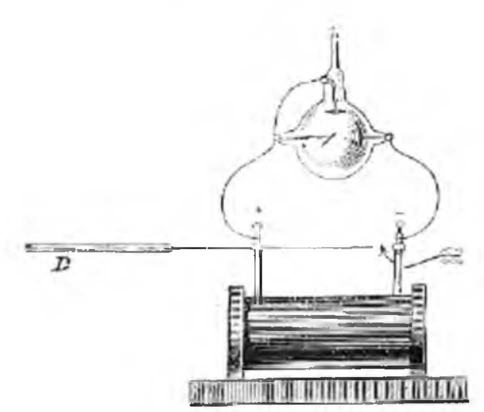
Трубка съ регуляторомъ представляетъ въ томъ отношеніи преимущество, что во время употребленія давленіе въ ней всегда можетъ быть удержано

также и на такой высотѣ, при которой получается наиболѣе интенсивное дѣйствіе лучей и отчетливое изображеніе. Средство къ уменьшенію давленія основано на томъ наблюденіи, что при прохожденіи тока свѣтящійся воздухъ съ парами фосфора, іода и другихъ подобныхъ веществъ выдѣляетъ твердыя частицы въ то время, какъ увеличеніе давленія достигается посредствомъ нагрѣванія стѣнокъ и выдѣленія подъ дѣйствіемъ теплоты прилипшаго къ нимъ слоя воздуха.



775. Рентгеновская лампа Сименса и Гальске.

Рис. 775 представляетъ построенную на основаніи этого принципа фирмою Сименсъ и Гальске новую Рентгеновскую лампу. Цилиндрическая разрядная трубка содержитъ катодъ въ формѣ вогнутаго зеркала изъ алюминія и плоскій *платиновый анодъ, поставленный* подъ косымъ угломъ къ оси трубки. Соединяющійся съ разрядной трубкой шаръ имѣетъ вспомогательный анодъ и противъ него надставочную трубу, стѣнки которой покрыты фосфоромъ для поглощенія воздуха. Если воздушное давленіе въ трубѣ слишкомъ высоко, то положительный полюсъ индуктора прикладываютъ къ вспомогательному электроду шара и подвергаютъ воздухъ и фосфорные пары дѣйствію разрядовъ въ теченіе такого времени, пока не будетъ достигнуто наиболѣе сильное свѣченіе. Если, наоборотъ, давленіе слишкомъ слабо, то его можно увеличить, подогрѣвая на огнѣ шаръ и тѣмъ самымъ удаляя въ трубку держащійся у стекла слой воздуха.



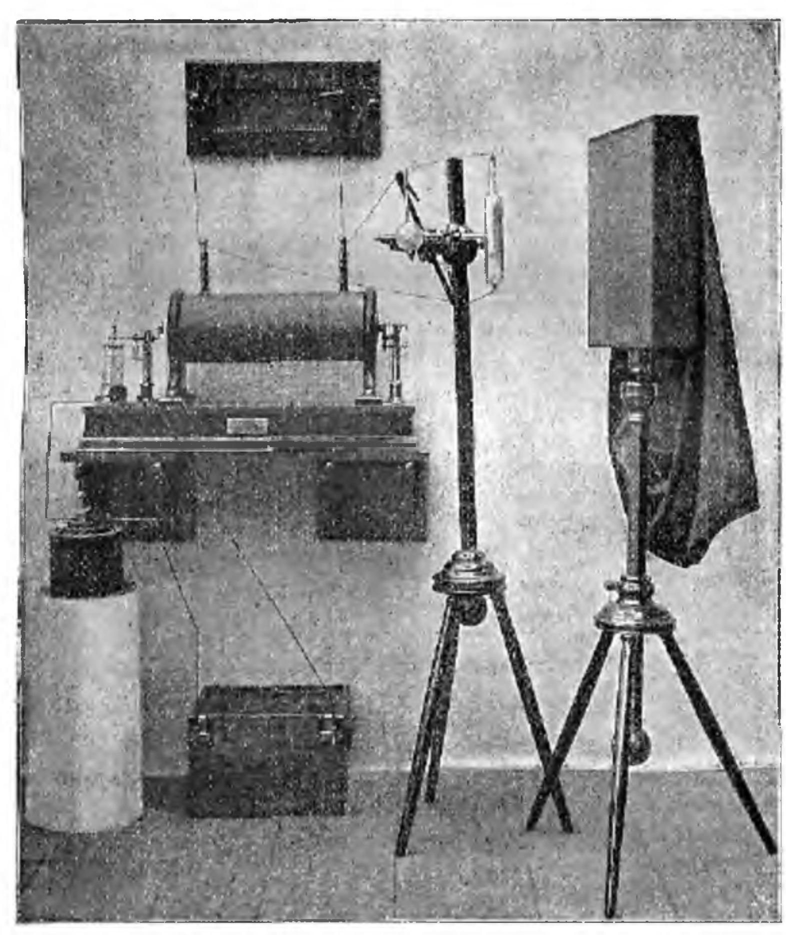
776. Способъ включенія рентгеновской трубки.

Рекомендуется всегда производить соединенія проводниковъ такимъ образомъ, какъ показано на рис. 776, причемъ посредствомъ проволоки *D* для регулированія существующаго въ трубкѣ напряженія вводится еще параллельно ей искромѣръ.

Изъ солей, флюоресцирующихъ подъ дѣйствіемъ Рентгеновскихъ лучей (платиновосинеродистый калій, соединеніе кальція съ вольфрамомъ и др.), платиновосинеродистый барій оказался наиболѣе пригоднымъ для изготовленія флюоресцирующаго экрана. Эти экраны всѣхъ величинъ приготовляются съ большимъ совершенствомъ К. А. Ф. Кальбаумомъ въ Берлинѣ. Для фотографическихъ снимковъ съ Рентгеновскими лучами нужно на первомъ мѣстѣ рекомендовать Шлейснеровскія сухія пластинки съ двойнымъ слоемъ эмульсіи.

Время экспозиціи для Рентгеновскихъ фотографій, которое прежде простиралось отъ одного до 2 часовъ, теперь уменьшено до дробей секунды и при снимкахъ человѣческаго тѣла занимаетъ только нѣсколько минутъ.

На рис. 777 показано то расположеніе аппаратовъ, въ которомъ они примѣняются къ дѣлу. Индукторъ возбуждается аккумуляторной батареей съ незначительнымъ напряженіемъ или въ соединеніи съ соотвѣтственно подобраннымъ реостатомъ отъ цѣпи болѣе высокаго напряженія, напр. отъ



777. Индукторъ съ аппаратами для просвѣчиванія.

электрической станціи. Безвоздушная трубка устроена такъ, что можетъ быть переставляема на подножкѣ; между ней и экраномъ находится подлежащее освѣщенію тѣло. Для фотографическихъ снимковъ слѣдуетъ трубку ставить ея дѣйствующей плоскостью горизонтально. Чтобы можно было и въ свѣтлой комнатѣ работать съ флюоресцирующимъ экраномъ, Сальвіони помѣщаетъ его въ черный ящикъ въ видѣ камеръ-обскуры и называетъ этотъ аппаратъ, который вполнѣ удобенъ для нѣкоторыхъ изслѣдованій, криптоскопомъ (рис. 778). Теперь мы дадимъ нѣсколько интересныхъ снимковъ, которые были сдѣланы въ Берлинскомъ Королевскомъ институтѣ для опытовъ съ Рентгеновскими лучами, находящемся подъ руководствомъ профессора Э. Грунмаха

На рис. 779 изображается внутренность рассматриваемой сзади грудной клѣтки мужчины, у котораго въ заднюю часть шестого ребра попала пуля. Видно сердце съ концомъ, отклоненнымъ вправо. Кромѣ того, бросаются въ глаза рѣзко очерченныя ребра, между которыми ярко просвѣчиваютъ легкія. Когда паціента во время освѣщенія грудной полости заставляли дѣлать сильныя дыхательныя движенія, то можно было видѣть, какъ пуля двигалась вмѣстѣ съ шестымъ ребромъ.

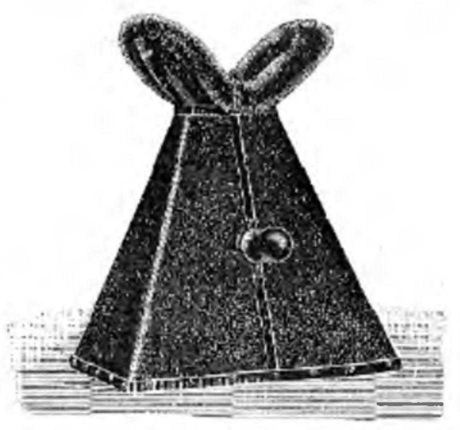
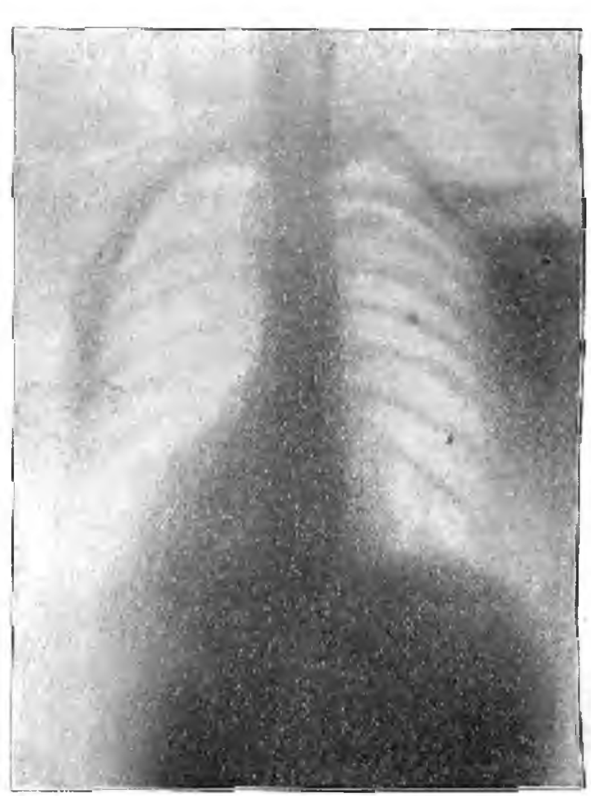

778. Криптоскопъ.

Рис. 780 представляетъ расширеніе главной артеріи, исходящей отъ сердца (Aneurisma aortae). Этотъ кровеносный сосудъ въ нормальномъ своемъ состояніи въ половину уже. Интересенъ тотъ фактъ, что въ данномъ случаѣ расширеніе аорты старыми средствами изслѣдованія не могло быть обнаружено (поэтому паціента раньше лечили, какъ легочнаго больного, между тѣмъ, какъ его болѣзнь была сердечная); съ помощью же рентгеновскихъ лучей характеръ его страданія могъ быть установленъ навѣрное, независимо отъ расширеннаго тѣневого изображенія сосуда, уже изъ ясно видимой пульсаціи.

Рис. 781 представляетъ внутренность паціентки съ постороннимъ тѣломъ въ кишкахъ (проглоченные зубы); на рисункѣ оно представляется въ легкой тѣни на бѣломъ фонѣ. Видна также проволока, которую операторъ протянулъ кругомъ тѣла, чтобы отмѣрить отъ пупка разстояніе, на которомъ нужно сдѣлать разрѣзъ. Положеніе посторонняго тѣла было измѣрено Рентгеновскими лучами съ точностью до 1 миллим.

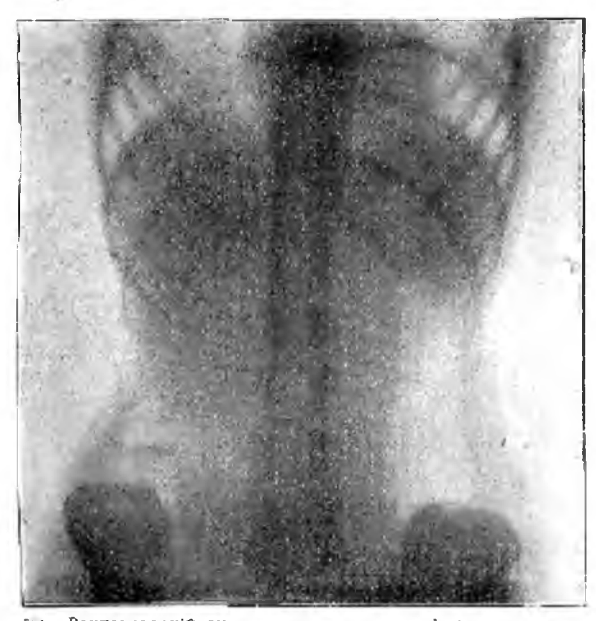
Рис. 782 изображаетъ локтевое сочлененіе, въ которомъ можно отчетливо разсмотрѣть нижнюю часть плечевой кости въ соединеніи съ локтевой костью.


779. Рентгеновскій снимокъ грудной клѣтки мужчины съ сидящей въ ней пулей.

Наконецъ, рис. 783 представляетъ колѣнный суставъ; здѣсь можно узнать по отчетливымъ очертаніямъ нижнюю часть верхней ляжки, такъ же какъ верхнюю часть голени и берцовой кости, кромѣ того, также и



780. Рентгеновскій снимокъ расширенія аорты.



781. Рентгеновскій снимокъ: постороннее тѣло въ кишкахъ.

надколѣнную при прямоугольномъ сгибѣ верхняго и нижняго бедра. Этихъ примѣровъ достаточно, чтобы показать, что Рентгеновскіе лучи представляютъ собой цѣнное вспомогательное средство для діагноза не только въ хирургіи, но также и при внутреннемъ леченіи. По мнѣнію многихъ медиковъ, Рентгеновское открытіе могло бы пріобрѣсть для медицины такое же значеніе, какъ изобрѣтеніе антисептики.

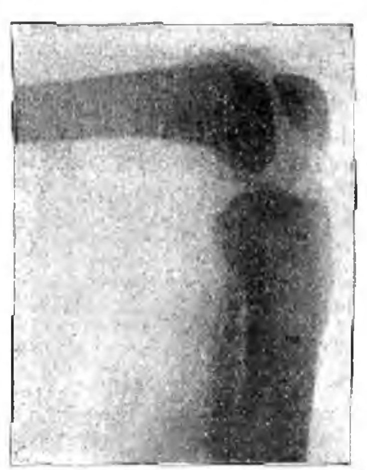
Примѣненіе Рентгеновскихъ лучей, однако, не ограничивается медициною, они оказываются весьма полезными и въ другихъ отрасляхъ знанія для изученія внутренней структуры органическихъ образованій, напр. въ ботаникѣ и зоологіи, и представляютъ здѣсь нѣкоторыя преимущества по сравненію съ наблюденіемъ черезъ микроскопъ, такъ какъ изображенія, отбрасываемыя послѣднимъ на ретину, ограничиваются лишь слоями весьма малой толщины, между тѣмъ, какъ Рентгеновскіе лучи дѣлаютъ возможнымъ изслѣдовать внутренность большого числа слоевъ, имѣющихъ въ суммѣ значительную толщину, въ одномъ тѣневомъ изображеніи. Г. Гинтербергеръ и А. Цальбрукнеръ изъ Вѣны и Гольдштейнъ изъ Берлина сдѣлали Рентгеновскіе снимки съ известковой губки, кораллов, морского ежа; эти снимки, кромѣ того, что даютъ представленіе о внутренности, обнаруживаютъ еще и очертанія наружной поверхности въ зависимости отъ толщины и плотности и показываютъ, что при Рентгеновскихъ снимкахъ можетъ быть достигнуто такое тонкое изображеніе деталей, которое, можетъ-быть, даже выходитъ за предѣлы остроты зрѣнія нормаль-

наго глаза. Другіе снимки показали, что также и перлметы, слабо поглощающіе напр. тонкіе слои органическихъ тканей, нѣжнѣйшіе цвѣты и листья могутъ быть ясно воспроизведены. Рентгеновскіе снимки цвѣта яблони, розы, ландыша и т. д. не только даютъ формы цвѣтовъ въ рѣзкихъ очертаніяхъ, но позволяютъ разсмотрѣть чрезъ цвѣточные и чашечные лепестки тычинки, пестики и завязь.

Но и этимъ далеко еще не исчерпывается практическое значеніе новыхъ таинственныхъ лучей. Они превосходно служатъ намъ также и въ другихъ отрасляхъ естествознанія, въ техникѣ и промышленности; они представляютъ важное вспомогательное средство для минералогическихъ цѣлей, для анатомическихъ, біологическихъ и бактеріологическихъ изслѣдованій; они употребляются для передачи рельефа при помощи фотографическихъ и геліографическихъ изображеній, для изслѣдованія съѣстныхъ припасовъ и многихъ произведеній техники. Въ этомъ отношеніи можно привести одинъ интересный примѣръ изъ многихъ другихъ. Рентгеновскіе лучи не только даютъ возможность легко обнаружить присутствіе металлическихъ солей въ шелкѣ, но позволяютъ еще отличать мужскіе шелковые коконы отъ женскихъ, какъ это видно изъ недавняго сообщенія Ліонской Торговой Палатѣ Ж. Тестенуара и Д. Левра *касательно опытовъ въ тамошней шелковой* лабораторіи. Эта возможность распознавать полъ коконовъ важна какъ для разматыванія нити, такъ въ особенности для опытовъ разведенія и скрещиванія, такъ какъ мужскіе коконы даютъ больше шелку, а потому породы, которыя имѣютъ больше мужскихъ яичекъ, цѣннѣе. До сихъ поръ существовала только примѣта, установленная опытомъ, что женскіе коконы въ общемъ тяжелѣе мужскихъ. Благодаря Рентгеновскимъ лучамъ, найдено, что задняя часть тѣла женскихъ куколокъ, въ виду того, что она содержитъ незрѣлыя, богатыя минеральными солями, яички, менѣе проницаема, нежели у мужскихъ.



782. Рентгеновскій снимокъ локтевого сочлененія.



783. Рентгеновскій снимокъ колѣннаго сустава.

*Намъ трудно, однако, удержаться отъ нѣ*котораго непріязненнаго чувства къ разносторонности примѣненія новыхъ лучей, когда подумаемъ, что все содержимое во время пу*тешествія въ нашихъ карманахъ и корзинахъ и* всѣ тайны, довѣряемыя нами письмамъ, не избѣгаютъ ихъ проникающаго взгляда: вѣдь удалось фотографировать письма черезъ запечатанные конверты, если только чернила, которыми они написаны, содержатъ металлическія соли и иныя непроницаемыя вещества; къ счастью, анилиновыя чернила не даютъ тѣневыхъ изображеній.

Открытіе Рентгеновскихъ лучей служитъ доказательствомъ того, какъ несправедливъ и ложенъ тотъ упрекъ, который люди практики ставили до сихъ поръ научному изслѣдованію, именно, будто бы оно занимается задачами, не приносящими прямой осязаемой практической пользы. Всякое открытіе въ естествознаніи не только обогащаетъ сокровищницу нашихъ знаній и расши-

ряетъ также сферу воздѣйствія человѣка на природу, благодаря или счастливому случаю или остроумію геніальнаго изслѣдователя, раскрывая передъ нами законы и жизнь природы, научаетъ насъ познавать ея силы, подчинять ихъ себѣ и обращать на служеніе нашимъ жизненнымъ цѣлямъ. То обстоятельство, что серьезные люди могутъ употреблять дни и даже недѣли на то, чтобъ изучить игру цвѣтовъ мыльнаго пузыря, конечно, можетъ вызвать со стороны профановъ, практическая дѣятельность которыхъ далека отъ этого, несправедливыя сужденія, будто бы все это только научная, а то и вполнѣ безполезная забава; и тѣмъ не менѣе этимъ занимались первоклассные ученые и основали на этихъ опытахъ цѣлую теорію, имѣвшую важный практическій результатъ. Ближайшее изслѣдованіе свойствъ катодныхъ лучей, которое было предпринято разными учеными около сорока лѣтъ тому назадъ и подвигалось впередъ безъ шуму, безъ заботы о непосредственной практической пользѣ въ лабораторіяхъ, быть-можетъ, разсматривалось большой публикой еще до недавней поры, какъ безполезное научное увлеченіе. И, однако, оно въ своемъ спокойномъ, постепенномъ, но постоянномъ развитіи привело къ новой научной эпохѣ, къ открытію рентгеновскихъ лучей, которые имѣютъ громадное значеніе въ научномъ, техническомъ, а также, благодаря ихъ плодотворному вліянію на многія отрасли промышленности, и въ политико-экономическомъ отношеніяхъ; кромѣ того оно открыло новые горизонты въ объясненіе нѣкоторыхъ небесныхъ явленій и соотношенія между состояніемъ солнца и электрическими, равно какъ и магнитными явленіями земли. Изслѣдованія Генриха Герца имѣли цѣлью доставить торжество электромагнитной теоріи свѣта Фарадэя-Максвелля и указать внутреннюю связь и единообразіе различныхъ формъ энергіи. Составившія эпоху открытія, которыми онъ вскорѣ обогатилъ науку и открылъ новые пути научному изслѣдованію, изумительно скоро, какъ показали опыты Тесла и Маркони, пріобрѣли высокое практическое значеніе и поставили техникѣ задачи, полное разрѣшеніе которыхъ остается на долю слѣдующаго столѣтія. Такимъ образомъ ученый долженъ быть свободенъ въ выборѣ своихъ изслѣдованій, не заботясь о непосредственномъ внѣшнемъ успѣхѣ и пользѣ, и отдаваться наукѣ ради нея самой; ея же сокровища рано или поздно служатъ общему благу человѣчества.

III.

Двигатели.

Инженера **Е. Розенбоома.**

Двигатели.

Введеніе.

Понятіе о двигателяхъ и главное подраздѣленіе ихъ. Живые двигатели. Человѣкъ въ качествѣ двигателя. Конные приводы.

Необходимость имѣть въ своемъ распоряженіи для выполненія работъ бо̀льшія силы, чѣмъ тѣ, которыя самъ человѣкъ можетъ доставить непосредственно своею мускульною силою или которыя могутъ быть получаемы при помощи простыхъ и сложныхъ машинъ, описанныхъ въ первомъ отдѣлѣ настоящаго тома, безъ сомнѣнія, сознана очень давно, съ началомъ культуры.

Описанные ранѣе Sâkije, древнее египетское водоподъемное колесо, приводимое въ движеніе буйволомъ, представляетъ собою уже способъ примѣненія для полученія полезной работы вмѣсто силъ собственнаго тѣла человѣка другихъ силъ; точно также и вододѣйствующія колеса были въ употребленіи уже у египтянъ. Однако, въ продолженіе многихъ столѣтій не замѣчается почти никакихъ успѣховъ въ дѣлѣ усовершенствованія двигателей; настоящее развитіе ихъ принадлежитъ почти исключительно позднѣйшему времени и главнымъ образомъ послѣднему столѣтію.

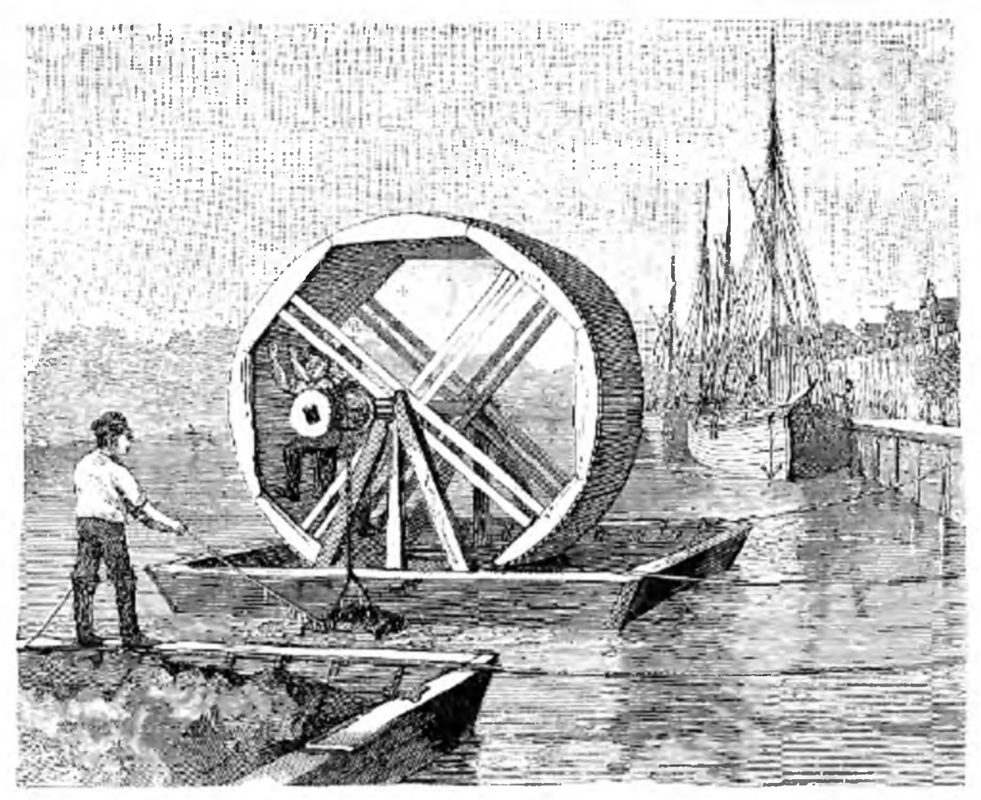
Уже ранѣе подробно было указано, что употребляемое часто въ обыденной жизни выраженіе „полученіе силы", строго говоря, неправильно, такъ какъ никогда никакимъ способомъ сила не можетъ быть произведена. Возможно только уже существующую силу или энергію преобразовать и пользоваться ею. Мы уже ранѣе видѣли, при изложеніи основного закона механики, закона сохраненія энергіи, а также при введеніи понятія объ единицѣ силы, что вся находящаяся въ природѣ энергія, по крайней мѣрѣ, въ нашей солнечной системѣ, на нашей землѣ, происходитъ, въ концѣ концовъ, отъ солнечной теплоты. Мы видимъ, какъ на равнинахъ вѣтеръ приводитъ въ движеніе многочисленныя вѣтряныя мельницы, служащія для размалыванія зерна; въ горахъ мы находимъ большія вододѣйствующія колеса, которыя принимаютъ энергію съ шумомъ свергающихся горныхъ потокъ и передаютъ ее лѣсопильнямъ. Въ городахъ и промышленныхъ странахъ подымаются вверхъ многочисленныя и высокія дымовыя трубы, выпускающія темныя облака дыма; изъ другихъ трубъ періодически, равномѣрно, съ шипѣніемъ, вырываются бѣлыя облака пара; они указываютъ на присутствіе паровыхъ машинъ, приводящихъ въ дѣйствіе въ рудникахъ механизмы, служащіе для доставленія угля и руды изъ глубины земли на ея поверхность, приводящихъ въ дѣйствіе на водокачкахъ насосы, вращающихъ сотни веретенъ на прядильныхъ фабрикахъ, приводящихъ въ дѣйствіе на громадныхъ желѣзо-

дѣлательныхъ заводахъ колоссальные молоты, которые выковываютъ большія, вѣсящія много центнеровъ раскаленныя массы желѣза въ любую форму, или приводящихъ въ движеніе могущественные вальцы, которые въ нѣсколько минутъ выпрессовываютъ проходящія черезъ нихъ, при ихъ вращеніи, массы въ желѣзнодорожные рельсы и балки, прокатываютъ ихъ въ тончайшіе листы или вытягиваютъ ихъ въ проволоку. По равнинамъ съ шумомъ проходитъ поѣздъ, перевозящій людей и товары въ отдаленныя города и страны во столько же часовъ, сколько прежде требовалось дней. Какими бы разнообразными ни представлялись всѣ эти внѣшнія проявленія силы, всѣ они имѣютъ источникомъ одну и ту же силу природы — солнечное тепло. Она проявляется и въ ревѣ вѣтра и въ шумѣ водопада, точно такъ же какъ и въ упругихъ силахъ водяного пара, только въ различныхъ формахъ; ни воздухъ, ни вода, ни паръ не обладаютъ никакою особенною, имъ только принадлежащею силою; всѣ они только передаютъ, и притомъ различнымъ способомъ, дѣйствіе силы тепла и именно солнечной теплоты, такъ какъ мы въ нашей природѣ имѣемъ только одинъ самостоятельный, первичный источникъ тепла, именно солнце. Двигатели такимъ образомъ не должны считаться машинами для полученія силы; они служатъ только для доставленія полезной механической работы.

Съ практической точки зрѣнія отличаютъ различные классы двигателей, сообразно различнымъ природнымъ силамъ, внѣшнее проявленіе которыхъ весьма разнообразно. Мы можемъ сдѣлать принципіальное различіе между пользованіемъ природными силами, являющимися въ видѣ живой силы, т.-е. *связанными съ движущейся массой, и превращеніемъ скрытой или потенціальной* энергіи. Первыя для сокращенія будутъ обозначаться природными силами (въ болѣе узкомъ смыслѣ); на практикѣ имѣютъ значеніе водяная сила и сила вѣтра. Всѣ же двигатели, пользующіеся тепломъ, получаемымъ при искусственномъ сжиганіи, т.-е. тепловые двигатели или калорическія машины, принадлежатъ ко второму классу. Согласно этому раздѣленію въ слѣдующихъ главахъ будутъ разсмотрѣны вѣтряныя колеса, вододѣйствующія колеса, турбины, водостолбовыя машины, наконецъ, три вида калорическихъ машинъ, именно: паровыя машины, газовые (точно также керосиновые и бензиновые) двигатели и двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ.

Особое положеніе занимаютъ живые двигатели. Человѣкъ и животныя съ механической точки зрѣнія разсматриваются, какъ чрезвычайно сложные двигатели. Часто можно слышать сравненіе, будто бы человѣческій организмъ и животныя представляютъ изъ себя паровыя машины; пища замѣняетъ собою уголь; сила производится благодаря медленному сгоранію (окисленію) пищи въ присутствіи вдыхаемаго кислорода. Сравненіе это, однако, очень шатко; какой органъ въ такомъ случаѣ долженъ соотвѣтствовать главной части паровой машины — цилиндру съ поршнемъ и чѣмъ замѣняется паръ — носитель силы? До недавняго, однако, времени было довольно широко распространено мнѣніе, что живые двигатели суть термодинамическія или калорическія машины, такъ какъ ихъ способность производить работу зависитъ отъ пріема способной къ горѣнію пищи и отъ вдыханія кислорода, и такъ какъ въ живомъ животномъ организмѣ развивается тепло. Заключеніе это, однако, признано въ послѣднее время невѣрнымъ. Во всякой термодинамической машинѣ полезное дѣйствіе ея зависитъ отъ паденія температуры, какъ это далѣе будетъ болѣе подробно изложено при описаніи калорическихъ машинъ; въ человѣческомъ же и животномъ организмахъ не имѣютъ мѣста никакія значительныя измѣненія температуръ; температура крови, какъ извѣстно, въ здоровомъ организмѣ остается постоянною. Точно также и болѣе раннія воззрѣнія различныхъ естествоиспыта-

телей, принимавшихъ живые двигатели за электродинамическіе двигатели, не могутъ быть приняты, такъ какъ въ мускулахъ, въ которыхъ производится механическая работа или превращается изъ другого вида энергіи, не находится никакого органа, который могъ бы замѣнить собою характерную главную часть электродинамическихъ двигателей. Многочисленными и тщательными опытами и изслѣдованіями точно установлено, что электрическіе токи существуютъ въ животномъ организмѣ и что проводниками ихъ служатъ нервы; однако, токи эти слишкомъ слабы для выполненія механической работы. Только немногія животныя, какъ, напр., электрическій скатъ



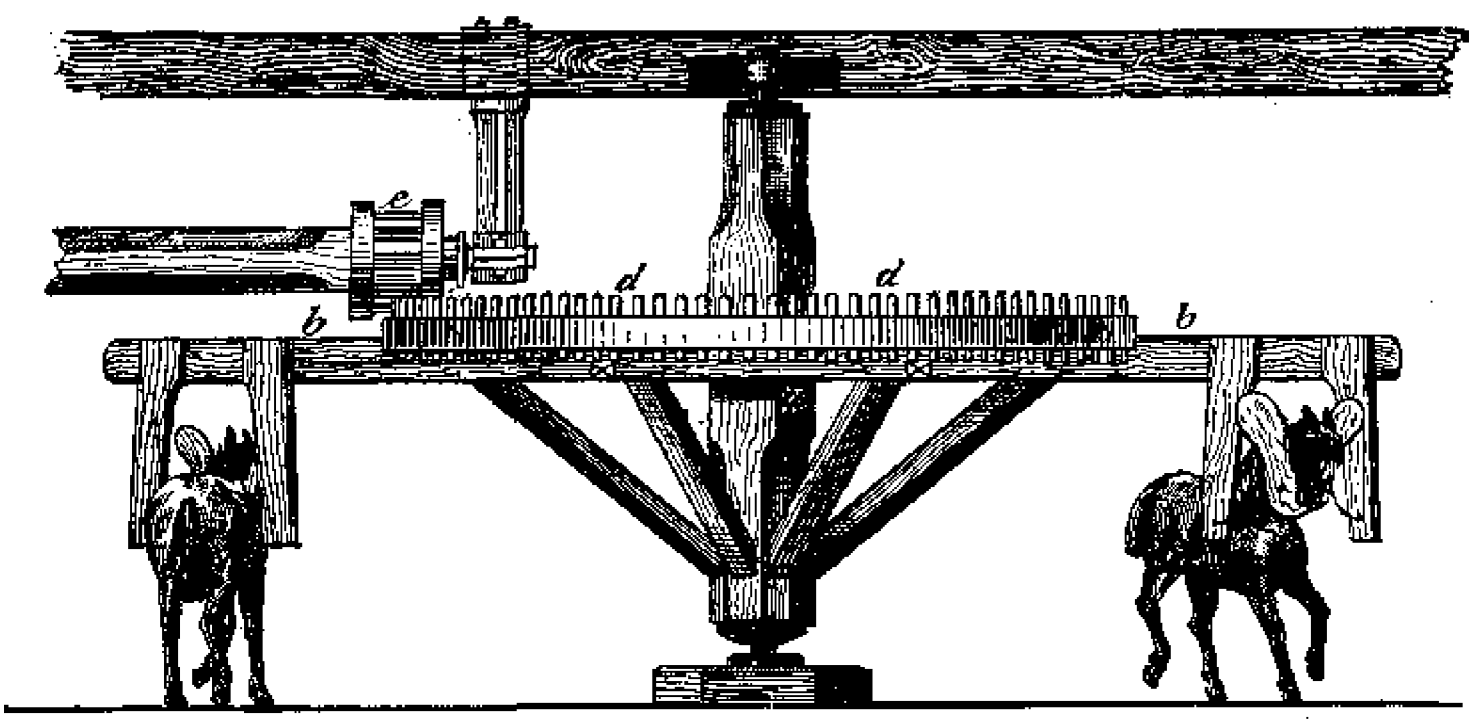
734. Норвежское ступеньчатое колесо (топчакъ). (Scientific American).

могутъ производить сильные электрическіе удары; они обладаютъ для этой цѣли особымъ большимъ органомъ, представляющимъ изъ себя электрическую батарею. У большинства же животныхъ, наоборотъ, нервы, идущіе отъ центра мозга, служатъ только для управленія движеніемъ или работою; при помощи ихъ органъ мысли какъ бы отдаетъ приказанія органамъ работы — мускуламъ.

Весьма вѣроятно, что живые двигатели представляютъ изъ себя химическіе динамическіе двигатели; хотя способъ дѣйствія ихъ до сихъ поръ еще не объясненъ, однако, это послѣдній изъ извѣстныхъ вообще способовъ, при помощи которыхъ потенціальная энергія можетъ быть превращена въ кинетическую или въ механическую работу; мы должны его принять пока за наиболѣе вѣроятный, такъ какъ оба другіе нами исключены. Однако, нельзя сказать, чтобы не былъ найденъ когда-либо иной возможный способъ, быть-можетъ, совершенно еще до сихъ поръ неизвѣстный видъ энергіи. Въ на-

стоящее время принимаютъ, что рабочая сила мускуловъ лежитъ въ очень быстрыхъ, такъ наз. взрывныхъ химическихъ дѣйствіяхъ, именно въ преобразованіи жировъ и т. п. органическихъ веществъ въ углеводныя соединенія и въ ихъ окисленіи въ углекислоту и воду, которыя выдѣляются при дыханіи и потомъ; благодаря этому заключающаяся въ жирахъ и т. д. потенціальная энергія превращается въ работу. Толчокъ къ такимъ химическимъ дѣйствіямъ даютъ нервы, и именно эта дѣятельность нервовъ вполнѣ соотвѣтствуетъ электрическому току; нервнымъ импульсомъ регулируется по желанію величина и направленіе выполняемой работы. Такимъ образомъ нервныя волокна, сходящіяся въ спинномъ и головномъ мозгу не переносятъ энергіи, но только ею управляютъ точно такимъ же образомъ, какъ электрическая искра служитъ причиною воспламененія взрывной мины.

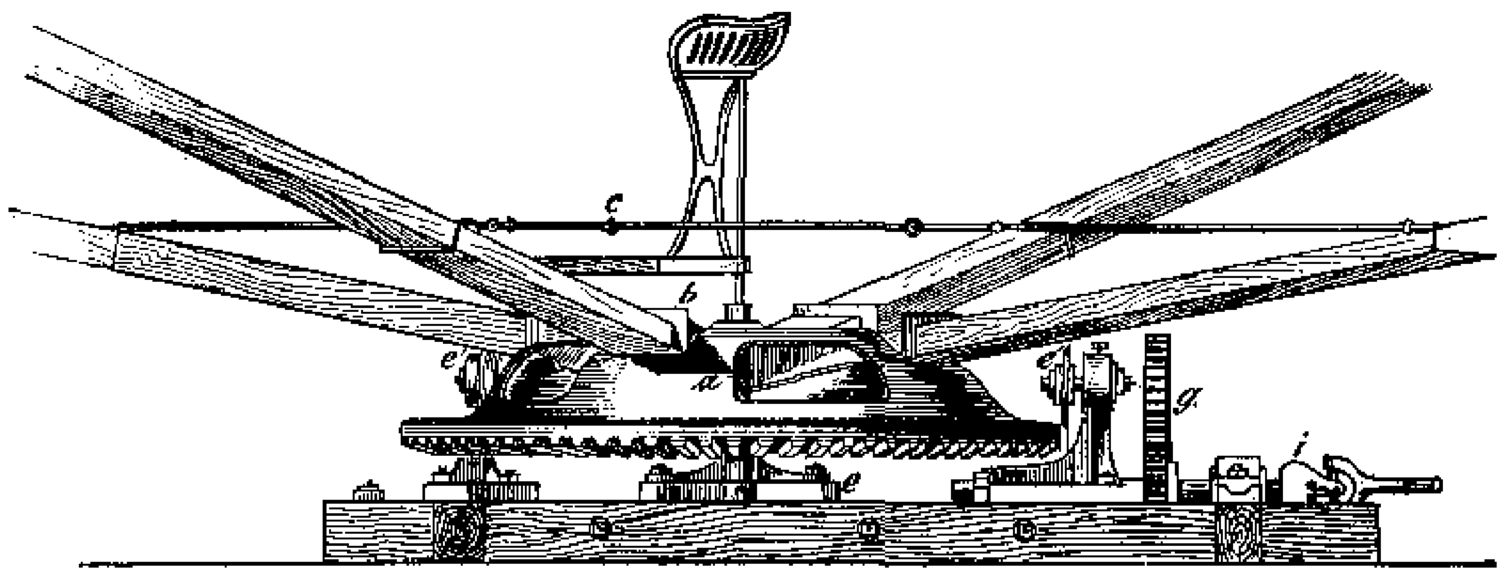
Объясненіе это, однако, совсѣмъ неясно и недостовѣрно, но оно, по крайней мѣрѣ, даетъ представленіе о томъ, какъ явленія могли бы происходить или, по всей вѣроятности, происходятъ.



785. **Конный приводъ (постоянный).**

Какъ при всѣхъ рабочихъ машинахъ, точно такъ же и при живыхъ двигателяхъ, мы можемъ говорить о коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія. Понятіе это вообще означаетъ отношеніе между количествомъ энергіи, сообщенной въ какомъ бы то ни было видѣ двигателю и доставленной послѣднимъ полезной работой. Напр., коэффиціентъ полезнаго дѣйствія вододѣйствующаго колеса, къ которому подводится 1 куб. м. воды при напорѣ въ 5 м., и которое отдаетъ на валу 4000 кгрм. въ секунду работы, равенъ $\frac{4000}{1 . 1000 . 5} = 0{,}8$ или 80%. Энергія, сообщаемая тепловымъ машинамъ, выражается въ механическихъ единицахъ, эквивалентныхъ теплотѣ горѣнія топлива (горючаго матеріала); напр., въ установкѣ съ паровой машиной, включая сюда и паровой котелъ, каждый граммъ сгорѣвшаго угля сообщаетъ установкѣ 8000 калорій, т.-е. энергію въ 8000×425 кгрм. въ секунду (такъ какъ по предыдущему механическій эквивалентъ тепла равенъ 425). Количество пищи, вводимое въ себя человѣкомъ средней крѣпости, за полный рабочій день соотвѣтствуетъ теплотѣ горѣнія приблизительно въ 3000—4000 калорій, т.-е. эквивалентно механической работѣ въ 1 500 000 кгрм. Механическая работоспособность человѣка весьма различна, смотря по тому, какъ онъ прилагаетъ свою силу; всего выгоднѣе, если рабочій частью пользуется мускулами ногъ или примѣняетъ всецѣло вѣсъ своего тѣла, напр.,

при ступеньчатыхъ колесахъ (топчакахъ); при усиленной работѣ человѣкъ, привыкшій къ такой работѣ, можетъ такимъ способомъ при десятичасовомъ рабочемъ днѣ развить около 290 000 кгрм.; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія былъ бы при этомъ $\frac{290\,000}{1\,500\,000} = 0{,}19$ или 19%; работа эта, выраженная въ лошадиныхъ силахъ, достигаетъ около $^1/_7$ лошадиной силы. 0,19 представляетъ чрезвычайно большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, недостижимый, какъ увидимъ далѣе, даже лучшими современными паровыми машинами; человѣкъ въ качествѣ двигателя преобразуетъ въ работу получаемую имъ вмѣстѣ съ пищею энергію почти вдвое лучше, чѣмъ утилизируютъ теплоту горѣнія угля большія хорошія паровыя машины, или въ четыре раза лучше среднихъ, во всякомъ случаѣ не худыхъ машинъ. Съ экономической точки зрѣнія, которая только и имѣетъ на практикѣ значеніе, численный расчетъ даетъ совсѣмъ другое, такъ какъ горючій матеріалъ человѣка,



786. Переносный конный приводъ.

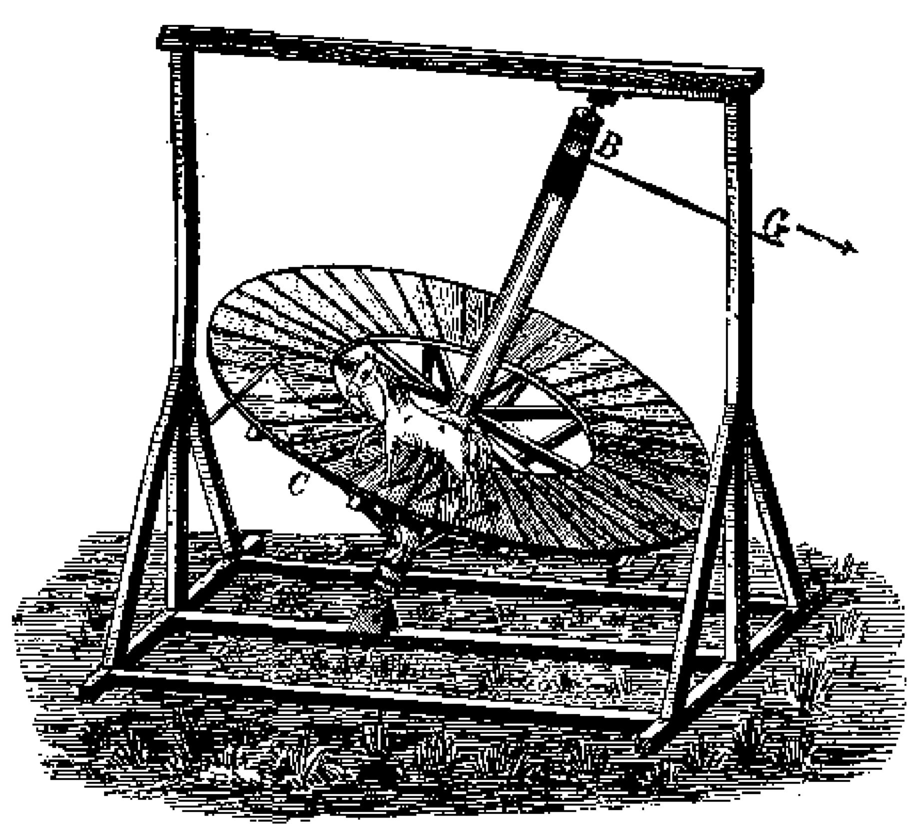
какъ двигателя, пища — почти въ тридцать разъ дороже каменнаго угля, сжигаемаго подъ паровыми котлами.

Машины, служащія для передачи силы человѣка, уже описаны въ первой части; это главнымъ образомъ суть: рычагъ (воротило, винтовой прессъ), блоки и тали (полиспасты), колеса (кривошипъ, воротъ, колесо со спицами). Здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть о топчакѣ (ступеньчатое колесо), употребляемомъ въ Норвегіи при очистительныхъ и углубительныхъ работахъ въ руслахъ рѣкъ (см. рис. 784); тамъ способы работы и техническіе пріемы во многомъ еще настолько же примитивны, какъ пятьдесятъ или сто лѣтъ тому назадъ въ Германіи; работа человѣка тамъ еще очень дешева и часто еще примѣняется вмѣсто паровой силы тамъ, гдѣ въ другихъ странахъ она уже считается неумѣстною. Какъ показываетъ рисунокъ, на широкомъ плоскомъ суднѣ установлено большое деревянное колесо, ось котораго оканчивается зубчатымъ валомъ. Два работника, идя внутри колеса, приводятъ его въ движеніе (какъ въ ранѣе описанномъ ступеньчатомъ колесѣ) и поднимаютъ такимъ образомъ при помощи цѣпи черпаки наверхъ.

Механической силой человѣка въ настоящее время пользуются вообще только въ тѣхъ случаяхъ, когда требуемая работа невелика или когда она требуется въ теченіе непродолжительнаго времени, т.-е. когда не стоитъ устанавливать двигателя, точно также и при такихъ работахъ, которыя не могутъ быть выполняемы машинами. Въ послѣднее время работа человѣка все болѣе вытѣсняется машинной работой также и въ тѣхъ случаяхъ, въ которыхъ послѣдняя считалась прежде непримѣнимой, какъ, напр., въ ткацкомъ и прядильномъ производствахъ, при сельскохозяйственныхъ работахъ (сѣянье,

косьба, молотьба), при сооруженіи каналовъ (землечерпательныя машины) и въ особенности въ желѣзодѣлательной промышленности (массовое производство мелкихъ желѣзныхъ предметовъ, вальцованныя цѣпи изъ отдѣльныхъ звеньевъ, ключи, заклепки и т. д.), точно также въ большинствѣ ремесленныхъ производствъ. Однако, всегда остаются работы, которыя теперь, а также и впослѣдствіи могутъ быть выполняемы только человѣческими руками. Главнымъ образомъ это такія работы, которыя въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ представляютъ особыя условія, требуютъ большей или меньшей интеллигентности работника или руководителя нѣкоторымъ числомъ рабочихъ, для того, чтобы въ каждомъ данномъ случаѣ имѣть возможность выполнить данную работу наиболѣе цѣлесообразно.

Съ изобрѣтеніемъ паровыхъ машинъ или, вѣрнѣе, благодаря болѣе раціональной постройкѣ таковыхъ и со всеобщимъ распространеніемъ ихъ, т.-е. съ начала прошлаго столѣтія, пользованіе **животными**, какъ двигательною силою, отошло на задній планъ; тѣмъ не менѣе они и теперь имѣютъ большое значеніе и останутся въ употребленіи еще на долгое время. Для перевозки тяжестей на небольшія разстоянія и въ особенности въ сельскомъ хозяйствѣ долго еще будутъ пользоваться, главнымъ образомъ, лошадьми, какъ двигательною силою. Лошадь работаетъ всего экономичнѣе при тягѣ въ горизонтальномъ направленіи; работа, развиваемая тяжелыми лошадями, можетъ при этомъ достигнуть до 70—80 кгрм. въ секунду, т.-е. немного больше лошадиной силы; легкія лошади развиваютъ около 60 кгрм. въ секунду при девятичасовомъ рабочемъ днѣ; при перерывѣ работы частыми и длинными промежутками работа, развиваемая лошадью, можетъ достигнуть до 100 кгрм. въ секунду. Значительно менѣе экономична работа лошади при **конныхъ приводахъ**, вслѣдствіе необходимости постоянно мѣнять направленіе движенія; здѣсь она достигаетъ только 65 кгрм въ секунду. Конные приводы употребляются еще часто въ *сельскомъ хозяйствѣ*, какъ, напр., *на кирпичныхъ заводахъ*, въ машинахъ для мятья глины и т. д. для мелкихъ работъ, хотя въ послѣднее время и для такихъ производствъ все болѣе и болѣе примѣняются паровыя машины, въ особенности удобные, легко устанавливаемые и обслуживаемые локомобили. Для приведенія въ дѣйствіе конныхъ приводовъ, по большей части, служатъ лошади, рѣже и волы и ослы; идя по кругу, они надавливаютъ на рычагъ, рукоятку ворота привода или вагу. Рис. 785 представляетъ обыкновенный конный приводъ; вертикальный валъ его *a* ходитъ внизу въ подшипникѣ, а вверху цапфой въ брусѣ. На валъ внизу насажено большое горизонтальное зубчатое колесо *d* съ деревянными зубьями; въ развилки *cc* на обоихъ рычагахъ *bb* запрягаются животныя. Слишкомъ малая скорость вращенія, зависящая отъ медленнаго сравнительно хода животныхъ, увеличивается тѣмъ, что зубчатое колесо *e*, за зубья котораго



787. Топчакъ для лошадей.

захватываютъ зубья колеса *d*, дѣлается значительно меньше послѣдняго; колесо *e* насажено на горизонтальный валъ, передающій силу къ рабочимъ машинамъ (молотильныя машины, соломорѣзки, машины для мятья глины и т. д.).

Если машины должны работать не на одномъ мѣстѣ, то употребляютъ **передвижные конные приводы**, могущіе легко быть убираемыми и вновь устанавливаемыми; такой приводъ изображенъ на рис. 786, а именно нѣмецкій конный приводъ съ колоколообразнымъ колесомъ; *a* — колоколообразное колесо, снабженное снизу зубьями и имѣющее четыре башмака для вставленія рычаговъ; послѣдніе стянуты натяжными стержнями *c*. Колесо вращается пятой въ плиткѣ *e*, укрѣпленной на брусьяхъ; внѣшній край колеса идетъ подъ тремя направляющими колесами *e'*, придѣланными къ нижнимъ подпорамъ, благодаря чему колесо удерживается въ горизонтальномъ положеніи. Зубья большого колеса захватываютъ за зубья зубчатаго привода, благодаря чему при посредствѣ шарнирнаго соединенія приводится во вращеніе горизонтальный рабочій валъ.

Мѣстами въ сельскомъ хозяйствѣ еще встрѣчается изображенный на рис. 787 **топчакъ въ видѣ диска**, на которомъ могутъ работать лошади или волы. Способъ дѣйствія его ясно виденъ изъ рисунка. На валъ *AB*, наклонный подъ угломъ въ 20—25° и закрѣпленный снизу и сверху въ раму, насаженъ солидный деревянный дискъ *CDE* діаметромъ въ 12—15 м. съ набитыми на немъ по радіусамъ жердями; дискъ этотъ соотвѣтственно оси наклоненъ къ горизонту, и идущее по нему животное приводитъ его и связанный съ нимъ валъ во вращеніе, благодаря своему вѣсу. Отъ вала тѣмъ или другимъ способомъ сила передается къ рабочимъ машинамъ; на рис. 787 *G* представляетъ то сопротивленіе, дѣйствующее въ направленіи стрѣлки, которое преодолѣвается при работѣ.

Вѣтряные двигатели.

Происхожденіе вѣтряныхъ мельницъ. Нѣмецкія вѣтряныя мельницы. Мощность и примѣненіе вѣтряныхъ мельницъ. Новыя, такъ наз. американскія вѣтряныя колеса. Большое американское вѣтряное колесо на электрической освѣтительной установкѣ. Горизонтальныя вѣтряныя колеса.

О времени изобрѣтенія и о первыхъ примѣненіяхъ вѣтряныхъ колесъ нѣтъ никакихъ достовѣрныхъ свѣдѣній; они не были извѣстны ни древнимъ азіатскимъ культурнымъ народамъ, ни грекамъ, ни римлянамъ. Совершенно неправдоподобно предположеніе, будто бы родина вѣтряныхъ мельницъ востокъ, и будто бы онѣ вывезены оттуда въ Европу во время крестовыхъ походовъ, такъ какъ на востокѣ не найдено вѣтряныхъ мельницъ болѣе древнихъ, чѣмъ въ Европѣ; онѣ тамъ даже и въ настоящее время почти неизвѣстны. По всей вѣроятности, вѣтряныя колеса происхожденія нѣмецкаго и были изобрѣтены во второй половинѣ одиннадцатаго столѣтія; вѣтряныя мельницы самаго древняго способа постройки съ давнихъ поръ называются нѣмецкими мельницами. Первое изъ извѣстныхъ достовѣрныхъ указаній на вѣтряныя мельницы находится въ одномъ документѣ 1105 г., которымъ выдано одному французскому монастырю разрѣшеніе на устройство вѣтряной мельницы. Въ двѣнадцатомъ столѣтіи вѣтряныя мельницы уже широко примѣняются въ различныхъ мѣстахъ Европы.

Уже ранѣе было изложено (I отдѣлъ этого тома) о способѣ дѣйствія вѣтряныхъ колесъ; сила вѣтра, дѣйствуя на наклонно установленное крыло, разлагается на двѣ составляющія, вслѣдствіе чего вѣтеръ производитъ на крыло боковое давленіе; послѣднее приводитъ крыло во вращеніе. Поэтому мощность вѣтряного колеса, независимо отъ болѣе или менѣе хорошей его

конструкціи, зависитъ отъ поверхности крыла и отъ давленія вѣтра; давленіе же вѣтра въ свою очередь зависитъ отъ скорости его.

Въ старыхъ нѣмецкихъ **вѣтрянкахъ** вѣтряное колесо было неизмѣнно связано со зданіемъ. Все зданіе вращается вокругъ неподвижнаго вертикальнаго столба; при помощи длиннаго рычага вся мельница можетъ быть поворачиваема вокругъ этого столба и устанавливаема по направленію вѣтра. Значительно позже нѣмецкихъ вѣтряныхъ мельницъ вошли въ употребленіе **голландскія вѣтряныя мельницы**; онѣ состоятъ изъ неподвижнаго башнеобразнаго зданія съ поворотною крышею (шатромъ): въ шатрѣ помѣщенъ валъ, на который насажены крылья вѣтрянаго колеса. Въ обоихъ видахъ этихъ старыхъ вѣтряныхъ мельницъ наклонная ось, на которую насажено колесо, приводитъ во вращеніе при помощи коническихъ зубчатыхъ колесъ вертикальную ось, двигающую жерновъ. Крылья колеса состоятъ изъ деревянныхъ рамъ съ обрѣшетинами (иглицами), затянутыми парусиной или выложенными тонкими жестяными пластинами (щитами). Въ старыхъ нѣмецкихъ вѣтряныхъ мельницахъ крылья плоскія и установлены наклонно къ направленію вѣтра; въ голландскихъ мельницахъ, напротивъ, плоскости крыльевъ изогнуты, благодаря чему дѣйствіе ихъ значительно сильнѣе. Въ старыхъ вѣтряныхъ мельницахъ плоскость крыльевъ покрывалась парусиной или жестяными пластинами, смотря по силѣ вѣтра или вся или только частью; благодаря этому поверхность, на которую дѣйствуетъ вѣтеръ, дѣлалась большею или меньшею.

Во второй половинѣ 18 столѣтія въ первый разъ были устроены вѣтряныя мельницы, въ которыхъ вышка устанавливалась по направленію вѣтра сама собою при помощи особаго малаго направляющаго колеса или широкаго направляющаго крыла (флюгера), помѣщаемыхъ на сторонѣ вышки, противоположной главнымъ крыльямъ. Уже тогда стремились трудное и кропотливое дѣло затягиванія крыльевъ парусиной или покрыванія ихъ большимъ или меньшимъ числомъ жестяныхъ пластинъ замѣнить приспособленіемъ, регулируемымъ автоматически силою вѣтра. Въ мельницахъ, устроенныхъ шотландцемъ **Meikle**, вся плоскость крыла состоитъ изъ жалюзообразныхъ щитовъ, вращающихся на осяхъ; смотря по положенію жалюзей они или покрываютъ все крыло и представляютъ для давленія вѣтра наибольшую поверхность, или устанавливаются своими плоскостями параллельно направленію вѣтра, такъ что воздухъ можетъ свободно проходить между ними, не встрѣчая особаго сопротивленія. Отдѣльныя пластины (щиты) удерживаются въ первомъ положеніи при помощи пружинъ, и, смотря по силѣ вѣтра, они выводятся болѣе или менѣе изъ этого положенія; такимъ образомъ болѣе сильный вѣтеръ дѣйствуетъ на меньшую поверхность, чѣмъ болѣе слабый. Такимъ способомъ регулируются до нѣкоторой степени дѣйствующее давленіе вѣтра и скорость вращенія колеса.

Позже отказались отъ этого рода автоматической установки, и были придуманы приспособленія, при помощи которыхъ возможно снизу въ-ручную производить установку, сообразно силѣ вѣтра, плоскостей, на которыя давитъ вѣтеръ. Для покрышки крыльевъ примѣняютъ жалюзи, отдѣльныя части которыхъ въ видѣ прямоугольныхъ продолговатыхъ пластинъ устанавливаются поперекъ ширины крыльевъ и вращаются на осяхъ, придѣланныхъ къ ихъ узкимъ сторонамъ. Всѣ пластины на каждомъ крылѣ присоединены къ тягѣ, всѣ же тяги соединены между собою въ серединѣ колеса посредствомъ колѣнчатаго рычага; послѣдній же можетъ приводиться въ дѣйствіе при помощи выдвижного стержня, проходящаго черезъ полый валъ колеса; выдвижной стержень на сторонѣ, противоположной колесу, нѣсколько выходитъ изъ вала и снабженъ зубчатой рейкой, зубцы которой захватываютъ сегментъ съ зубцами, приводимый во вращеніе въ ту или другую

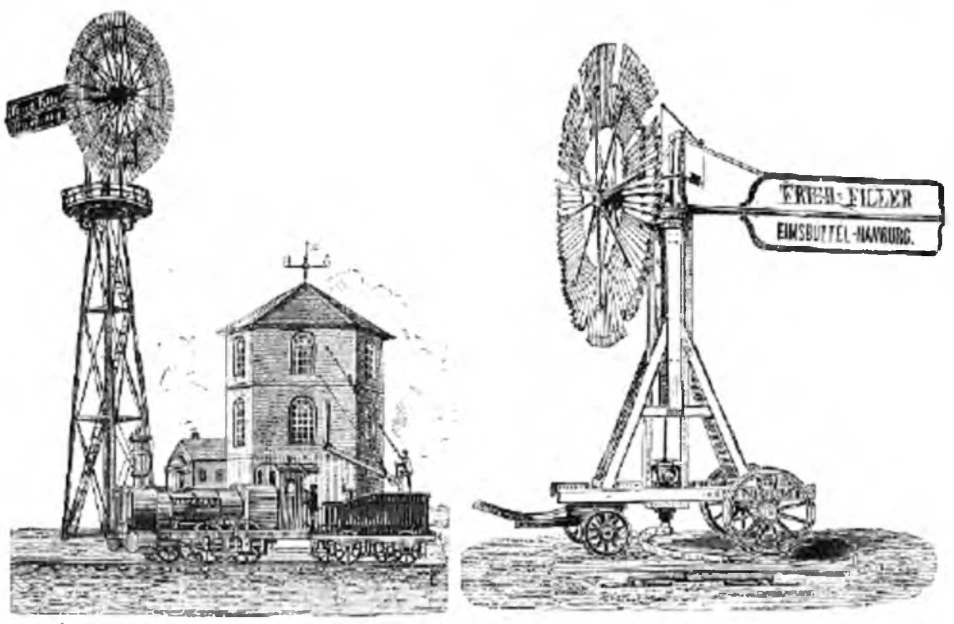
сторону снизу при помощи шнура. Этимъ приспособленіемъ возможно открывать и закрывать пластинки жалюзи крыльевъ. При помощи этого приспособленія можно достигнуть также автоматической установки, если къ шнуру, при помощи натяженія котораго можно закрывать или открывать жалюзи, привѣсить грузъ, такимъ образомъ соразмѣренный, чтобы при дѣйствіи его пластинки жалюзи оставались закрытыми только до извѣстной силы вѣтра; болѣе сильный вѣтеръ открываетъ пластинки и устанавливаетъ ихъ наклонно. При одной изъ другихъ конструкцій крылья состоятъ изъ одного сплошного щита, вращающагося вокругъ продольной оси. Давленіе вѣтра стремится установить поверхности крыльевъ такъ, чтобы плоскости ихъ были параллельны направленію вѣтра; вѣтеръ встрѣчалъ бы такимъ образомъ только острые края, не производя работы. Въ направленіи, противоположномъ дѣйствію вѣтра, на щиты крыльевъ дѣйствуетъ нѣкоторый грузъ; грузъ этотъ при помощи блока и шнура дѣйствуетъ на стержень, пропущенный черезъ полый валъ колеса; стержень спереди захватываетъ четыре колѣнчатыя рычага, соединенные такимъ образомъ со щитами крыльевъ, что дѣйствіе груза устанавливаетъ крылья. Смотря по величинѣ груза и силѣ вѣтра, крылья устанавливаются болѣе или менѣе наклонно къ направленію вѣтра, причемъ какъ дѣйствующее давленіе вѣтра, такъ и работа, развиваемая колесами, остаются постоянными.

Благодаря успѣхамъ въ постройкѣ простыхъ и экономичныхъ паровыхъ машинъ, вѣтряныя мельницы съ половины прошлаго столѣтія отошли на задній планъ, и техника перестала ими заниматься; въ теченіе долгаго времени не было никакихъ значительныхъ успѣховъ какъ вообще въ построеніи вѣтряныхъ мельницъ, такъ и въ особенности въ выполненіи отдѣльныхъ ихъ частей. Такъ какъ вслѣдствіе несовершенствъ въ выполненіи старыхъ мельницъ, они обладали слишкомъ тяжелымъ ходомъ, то ими нельзя было пользоваться въ теченіе большей части года; это заставляло владѣльцевъ мельницъ имѣть въ запасѣ паровыя машины; вслѣдствіе же значительныхъ преимуществъ послѣднихъ, легкаго за ними ухода и всегдашней ихъ готовности къ работѣ, онѣ въ концѣ концовъ во многихъ случаяхъ стали главными производителями рабочей силы, вѣтряныя же колеса, все болѣе и болѣе, стали выходить изъ употребленія. Всемірная выставка въ Филадельфіи 1876 года ознакомила съ большими успѣхами, достигнутыми въ постройкѣ вѣтряныхъ мельницъ въ Сѣверной Америкѣ; вскорѣ затѣмъ американскія вѣтряныя колеса были введены въ Германію представителями американскихъ фирмъ. Послѣ этого и германскіе заводы занялись постройкой усовершенствованныхъ, такъ называемыхъ американскихъ вѣтряныхъ колесъ или двигателей, и въ скоромъ времени германскія издѣлія вполнѣ сравнялись съ американскими и, быть-можетъ, превзошли ихъ въ солидности и тщательности выполненія. Машиностроительные заводы Фридр. Филлера въ Гамбургѣ-Эйсбюттелѣ и Адольфа Пипера въ Мёрсѣ на нижнемъ Рейнѣ были первыми, которые ввезли американскіе оригиналы въ Германію; впослѣдствіи они сами занялись съ постоянно возрастающимъ успѣхомъ производствомъ ихъ.

Американскія вѣтряныя колеса устанавливаются по большей части на деревянныхъ или желѣзныхъ подмосткахъ. Наиболѣе распространенная въ Германіи система, это система Голладея. Колесо состоитъ изъ 6, 8 или большаго числа отдѣльныхъ секторовъ, состоящихъ въ свою очередь изъ извѣстнаго числа небольшихъ расположенныхъ по радіусамъ наклонныхъ планокъ. Въ состояніи покоя или при слабомъ вѣтрѣ всѣ секторы представляютъ изъ себя плоскость, перпендикулярную къ направленію вѣтра; вѣтеръ давитъ на наклонныя плоскости планокъ и проходитъ между отдѣльными планками; колесо приходитъ во вращеніе, и сила вѣтра передается отъ

вала колеса помощью коническихъ зубчатыхъ колесъ или при посредствѣ кривошипа исполнительнымъ механизмамъ. Рис. 788 представляетъ вѣтряное колесо, установленное на желѣзной башнѣ фирмы Фр. Филлера въ Гамбургѣ, приводящее въ дѣйствіе насосъ желѣзнодорожной водокачки. Подобныя же вѣтряныя колеса устраиваются переводными на низкихъ платформахъ, какъ показано на рис. 789; колесо можетъ приводить въ дѣйствіе насосъ, служащій для откачиванія воды при земляныхъ работахъ.

Американскія вѣтряныя колеса устанавливаются по направленію вѣтра при помощи направляющаго крыла (флюгера), которое само становится своею плоскостью параллельно направленію вѣтра, а соединенное съ нимъ колесо устанавливается перпендикулярно къ вѣтру. Регулированіе дѣйствующей по-



788. Американское вѣтряное колесо, служащее для приведенія въ дѣйствіе насосовъ желѣзнодорожной водокачки.

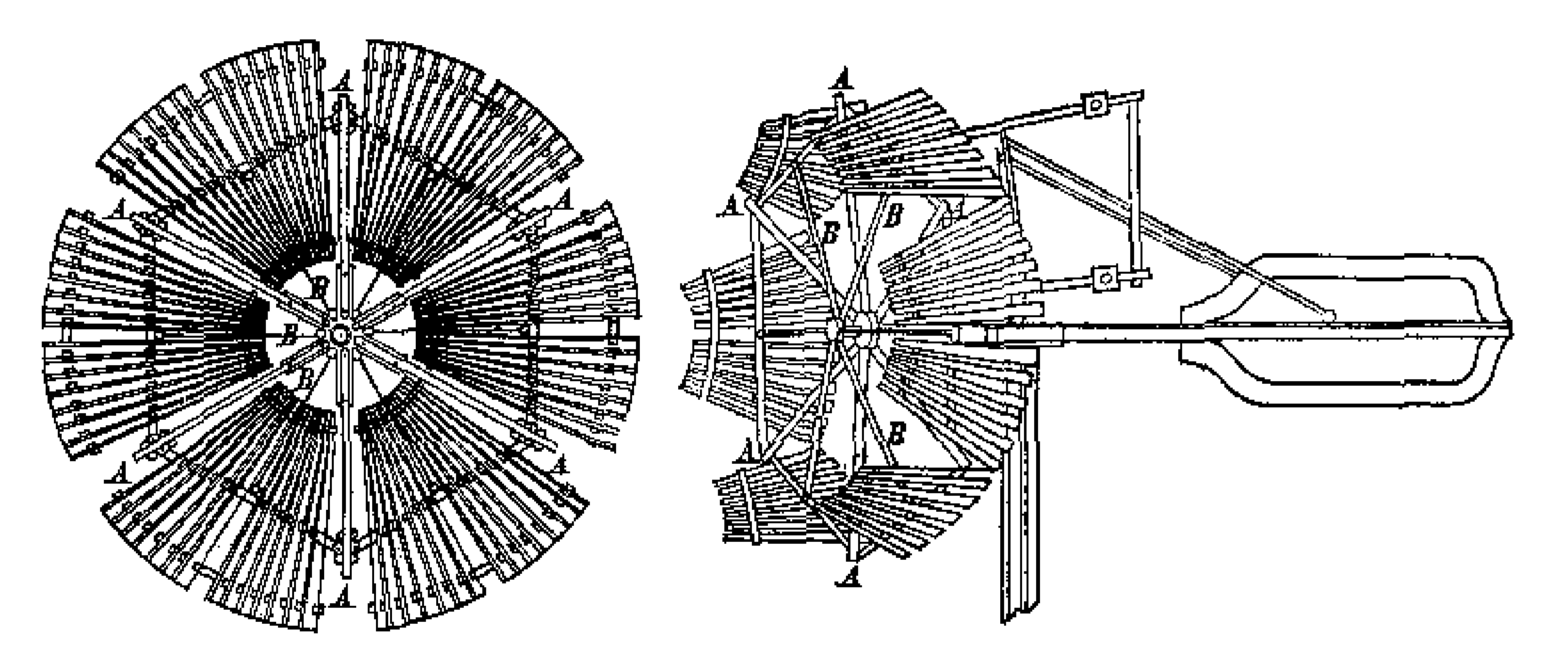
789. Передвижное вѣтряное колесо.

верхности колеса сообразно силѣ вѣтра производится различными способами. Секторы колеса, каждый въ отдѣльности, могутъ поворачиваться вокругъ осей AA (см. рис. 790 и 791) и притомъ такъ, что внѣшнія части отходятъ назадъ (по направленію вѣтра); колесо при этомъ принимаетъ видъ, показанный на рис. 791. Когда поворотъ достигнетъ 90°, такъ что отдѣльные секторы и планки становятся параллельными оси колеса, вѣтеръ на своемъ пути не встрѣчаетъ почти никакого сопротивленія, и колесо въ такомъ положеніи не приходитъ во вращеніе даже при самомъ сильномъ вѣтрѣ; смотря по установкѣ крыльевъ колеса, отъ только-что упомянутаго до положенія всѣхъ секторовъ въ одной плоскости (рис. 790), возможно мѣнять величину дѣйствующей поверхности, а вмѣстѣ съ тѣмъ и работу, доставляемую колесомъ, отъ нуля до наибольшей возможной величины (для даннаго колеса).

Способъ автоматическаго регулированія заключается въ томъ, что поверхности, на которыя вѣтеръ производитъ давленіе, дѣлаются съ внѣшней стороны оси вращенія AA больше, чѣмъ съ внутренней; вѣтеръ давитъ такимъ образомъ сильнѣе на внѣшнія части секторовъ и стремится всѣ ихъ повернуть вокругъ оси въ положеніе, изображенное на рис. 791. Давленію этому противодѣйствуетъ грузъ, дѣйствующій при посредствѣ механизма съ колѣнчатымъ рычагомъ на соединен-

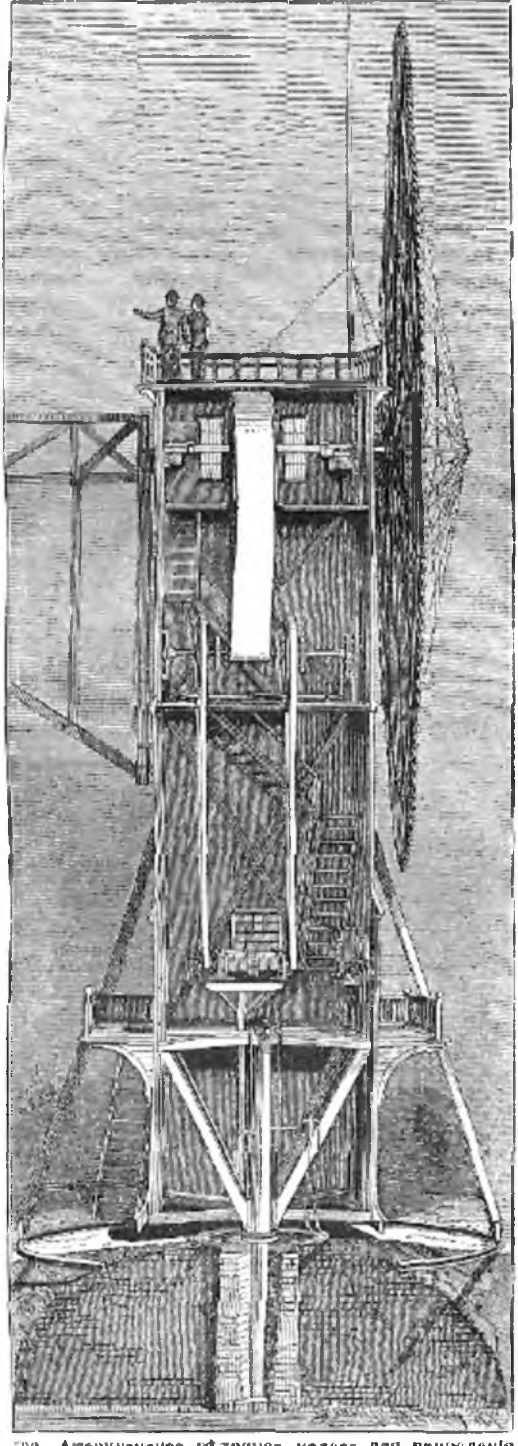
ныя съ осями стержни *B*, благодаря чему крылья колеса въ покойномъ состоянiи и при вѣтрѣ незначительной силы остаются въ одной плоскости. При болѣе сильномъ вѣтрѣ давленiе на внѣшнiя части колеса преодолѣваетъ дѣйствiе груза, и секторы колеса устанавливаются болѣе или менѣе наклонно. Другой способъ регулированiя основанъ на примѣненiи центробѣжной силы; этимъ способомъ достигается равномѣрная скорость вращенiя при различныхъ силахъ вѣтра и при различныхъ нагрузкахъ (въ извѣстныхъ предѣлахъ). Вмѣстѣ съ колесомъ вращаются грузы; когда при возрастанiи силы вѣтра или при уменьшенiи потребленiя энергiи колесо начинаетъ вращаться быстрѣе, то вслѣдствiе увеличенiя центробѣжной силы грузовъ всѣ части колеса одинаково прiоткрываются при помощи колѣнчатаго рычага; до извѣстной скорости вращенiя дѣйствiе центробѣжной силы уничтожается другимъ грузомъ, дѣйствующимъ на колесо въ противоположномъ направленiи, причемъ колесо остается закрытымъ.

Вѣтряныя колеса кромѣ приведенiя въ дѣйствiе мельницъ, для чего они сыздавна главнымъ образомъ и употребляются, находятъ примѣненiе въ сельскомъ хозяйствѣ, въ особенности въ небольшихъ установкахъ, для приведенiя въ дѣйствiе насосовъ при орошенiи и осушенiи полей, для снабженiя



790 и 791. Приспособленiе для регулированiя американскихъ вѣтряныхъ колесъ.

питьевой водой отдѣльныхъ строенiй, виллъ, садоводствъ, а также небольшихъ селенiй, какъ двигательная сила для кустарныхъ производствъ, какъ напр. для малыхъ механическихъ мастерскихъ, для приведенiя въ дѣйствiе пилъ, токарныхъ станковъ и т. п., гдѣ не могутъ быть примѣняемы газовые двигатели. Главное преимущество вѣтряныхъ двигателей заключается въ томъ, что они не требуютъ особыхъ расходовъ по эксплоатацiи; кромѣ незначительныхъ по большей части расходовъ на устройство, они требуютъ только расходовъ на смазку подшипниковъ, сочлененiй и т. п. и на случайныя исправленiя; особаго надзора американскiе вѣтряные двигатели также не требуютъ. Къ неудобству ихъ принадлежитъ постоянная необезпеченность ихъ дѣйствiя, которое зависитъ отъ существованiя вѣтра и отъ извѣстной его силы; для того, чтобы вѣтряныя мельницы могли экономично и выгодно работать, необходимо, чтобы въ году было около 200 дней съ вѣтромъ, достаточнымъ для полнаго ихъ дѣйствiя. Большинство вѣтряныхъ колесъ могутъ работать только при скорости вѣтра по меньшей мѣрѣ въ 4—5 метр. въ сек. и только при скорости въ 7 метр. въ сек. работаютъ полной силой; для того, чтобы и при меньшей силѣ вѣтра можно было получать отъ даннаго колеса требуемую работу, слѣдуетъ устанавливать большiя колеса, развивающiя уже при скорости вѣтра въ 5 метр. въ сек. требуемую силу. Сила вѣтряныхъ колесъ растетъ не пропорцiонально скорости вѣтра, а приблизительно пропорцiонально третьей степени ея; колесо, развивающее при скорости вѣтра въ 6 метр. въ сек. работу, равную лошадиной силѣ, при ско-



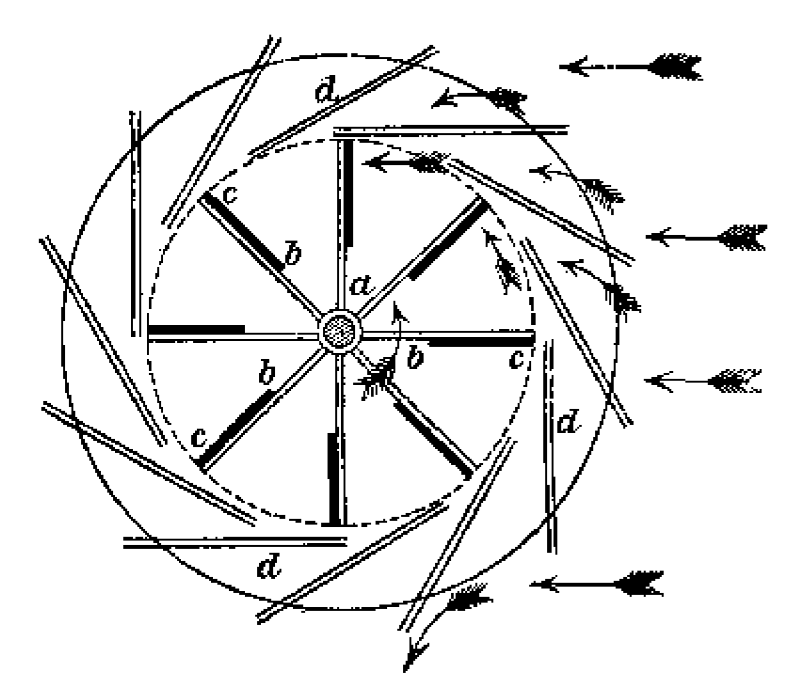
792. Американское вѣтряное колесо для приведенія въ дѣйствіе динамомашины для электрическаго освѣщенія (разрѣзъ).
(Изъ „Scientific American“.)

рости вѣтра въ 8 метр. развиваетъ почти двойную работу; точно также вѣтряное колесо, развивающее нормально при скорости вѣтра въ 7 метр. въ секунду 3 лошадиныя силы, при 5 метр. въ сек. даетъ только одну лошадиную силу.

Вслѣдствіе необезпеченности *дѣйствія вѣтряныхъ колесъ* полезно тамъ, гдѣ это возможно, работу ихъ при дняхъ съ хорошимъ вѣтромъ запасать, какъ бы „работать про запасъ“; этого можно достигнуть при установкахъ по водоснабженію, собирая воду въ резервуаръ, емкость котораго достаточна для расхода воды въ теченіе многихъ безвѣтреныхъ дней. Такіе резервуары незначительной емкости могутъ быть помѣщаемы подъ помостомъ или въ башнѣ самого вѣтрянаго колеса, на нѣкоторой высотѣ; отъ резервуара прокладываются трубы, по которымъ идетъ вода подъ давленіемъ въ нижележащія мѣста потребленія. На многихъ желѣзнодорожныхъ водокачкахъ для питанія локомотивовъ насосы приводятся въ дѣйствіе вѣтряными колесами (рис. 788). Водоподъемныя машины городского водопровода въ Грифсвальдѣ приводятся въ дѣйствіе вѣтрянымъ двигателемъ Филлера; колесо этого двигателя имѣетъ двѣ концентрическихъ системы крыльевъ; внѣшній діаметръ колеса достигаетъ 12 метровъ. При скорости вѣтра въ 7 метр. въ сек. двигатель развиваетъ 18 лошадиныхъ силъ. Въ теченіе цѣлаго года при средней скорости вѣтра въ 4,8 метр. въ сек. ежечасно онъ поднимаетъ 162 куб. метр. воды на высоту въ 6 метр. При установкѣ вѣтряныхъ колесъ имѣетъ большое значеніе выборъ подходящаго для нихъ мѣста; всего лучше устанавливать вѣтряныя мельницы на широкихъ, открытыхъ равнинахъ, или при неровной мѣстности на естествен-

ныхъ возвышенностяхъ; гдѣ нельзя выполнить даннаго требованія, тамъ колесо должно быть устанавливаемо на достаточно высокой башнѣ или помостѣ. Поблизости, по крайней мѣрѣ на 100 метровъ, не должны находиться болѣе высокія или приблизительно такой же высоты зданія, группы деревьевъ или возвышенности; необходимо, чтобы вѣтеръ имѣлъ со всѣхъ сторонъ свободный доступъ къ колесу.

Мѣстами, хотя до сихъ поръ только въ единичныхъ случаяхъ, примѣняютъ вѣтряныя колеса для приведенія въ дѣйствіе динамомашинъ, служащихъ для электрическаго освѣщенія. Самая большая установка подобнаго рода съ колоссальнымъ вѣтрянымъ колесомъ устроена нѣсколько лѣтъ тому назадъ выдающимся американскимъ электротехникомъ Брушемъ въ его имѣніи, въ Кливлендѣ (Огіо) по собственному его проекту и подъ его личнымъ руководствомъ. Въ паркѣ построена желѣзная, квадратнаго сѣченія, башня, высотою въ 18 м., на которой установлено вѣтряное колесо съ внѣшнимъ діаметромъ въ 17 м., колесо состоитъ изъ 144 отдѣльныхъ, наклонно установленныхъ и изогнутыхъ пластинъ, сгруппированныхъ въ отдѣльные секторы; рис. 792 представляетъ продольный разрѣзъ башни съ видомъ колеса въ боковомъ положеніи. Общая поверхность для давленія вѣтра достигаетъ 160 кв. м.; при помощи направляющаго крыла длиною въ 18 м. колесо вмѣстѣ со всею башнею поворачивается вокругъ центральной оси; съ боковъ башня подпирается четырьмя крѣпкими подкосами, нижнія части которыхъ оканчиваются небольшими колесами, ходящими по рельсамъ. Установка дѣйствующей поверхности крыльевъ производится автоматически, смотря по силѣ вѣтра. Движеніе главнаго вала колеса передается при помощи широкаго ремня внизъ на передаточный валъ, и съ него при помощи двухъ ремней динамомашинѣ, установленной въ нижнемъ этажѣ. Число оборотовъ динамо-машины въ 50 разъ больше числа оборотовъ вала вѣтрянаго колеса и достигаетъ 800 оборотовъ въ минуту. Работа колеса при полной нагрузкѣ достигаетъ 12 000 ваттъ. Динамо-машина питаетъ батарею аккумуляторовъ въ 408 элементовъ, при помощи которой нѣкоторымъ образомъ регулируется работа колеса, причемъ аккумуляторы нѣсколько выравниваютъ колебанія въ расходѣ электрической энергіи; днемъ, при небольшомъ потребленіи тока, электрическая энергія запасается въ аккумуляторахъ, а вечеромъ, а также и въ безвѣтренные дни, когда вѣтряное колесо доставляетъ мало энергіи или совсѣмъ не работаетъ, аккумуляторы доставляютъ потребную для освѣщенія энергію. Установка служитъ для освѣщенія зданія 350 лампами накаливанія, изъ числа которыхъ обыкновенно одновременно горятъ 100, и кромѣ того питаетъ 2 вольтовыя дуги и 3 электродвигателя. Получаемое такимъ образомъ при помощи даровой силы вѣтра освѣщеніе совсѣмъ не такъ дешево, какъ можно было бы ожидать; собственно рабочая сила дѣйствительно стоитъ весьма немного, такъ какъ вѣтряное колесо требуетъ совсѣмъ незначительнаго надзора; но установка настолько дорога, что цѣнность ея почти совсѣмъ уничтожаетъ преимущества дешевизны рабочей силы. Кромѣ того для правильности дѣйствія всей установки необходимо имѣть сравнительно очень большую батарею аккумуляторовъ.



793. Старое горизонтальное вѣтряное колесо.

Уже 200 лѣтъ тому назадъ дѣлались попытки устроить **горизонтальные вѣтряные двигатели** съ крыльями, вращающимися вокругъ вертикальной оси. Побудительной причиной къ тому служило, какъ и теперь, то, что такія вѣтряныя колеса не требуютъ установки ихъ по вѣтру, но могутъ идти при любомъ направленіи вѣтра безъ измѣненія положенія ихъ оси. Это преимущество ихъ однако уменьшается другимъ неудобствомъ, представляемымъ ими; полезная дѣйствующая поверхность крыльевъ у вѣтряныхъ колесъ съ вертикальною осью всегда меньше, чѣмъ у обыкновенныхъ вѣтря-

ныхъ мельницъ при одинаковой общей поверхности крыльевъ; основное условіе возможности дѣйствія такихъ вѣтряныхъ колесъ то, чтобы вѣтеръ исключительно или по крайней мѣрѣ преобладающе дѣйствовалъ съ одной стороны оси колеса, такъ какъ въ противномъ случаѣ давленіе вѣтра на обѣ половины колеса взаимно уничтожается, не производя работы; условіе это приводитъ къ болѣе или менѣе сложнымъ конструкціямъ колеса. Рис. 793 представляетъ схематически въ разрѣзѣ старое колесо такого рода; *a* — вертикальная ось, на которой при помощи крестовинъ *b* укрѣплены крылья *c* съ плоскостями, перпендикулярными плоскости колеса. Колесо окружено системой неподвижныхъ, наклонныхъ направляющихъ плоскостей, которыя при любомъ направленіи вѣтра позволяютъ воздуху входить въ колесо только съ одной его стороны, какъ указано стрѣлками, и дѣйствовать на крылья; съ другой же, противоположной стороны они отклоняютъ потокъ воздуха въ сторону. Въ другой остроумной конструкціи крылья во время вращенія колеса такъ поворачиваются особымъ зубчатымъ приспособленіемъ, что они на одной сторонѣ колеса подставляютъ дѣйствію вѣтра всю свою поверхность, тогда какъ на другой сторонѣ оси они становятся противъ вѣтра своими узкими сторонами, вслѣдствіе чего вѣтеръ дѣйствуетъ только на крылья, расположенныя съ одной стороны оси вращенія. Въ новѣйшее время подъ именемъ вѣтряныхъ турбинъ строятся вертикальныя вѣтряныя колеса, совпадающія въ главныхъ чертахъ съ расположеніемъ, изображеннымъ на рис. 793, но въ которыхъ благодаря улучшенной формѣ направляющихъ плоскостей и крыльевъ уменьшены ударъ струи воздуха при входѣ въ колесо и происходящая вслѣдствіе этого потеря энергіи. Хотя и существуютъ установки съ *такими вѣтряными турбинами, однако турбины эти не могутъ имѣть большого* распространенія, и едва ли онѣ получатъ какое-либо значеніе сравнительно съ новыми американскими вѣтряными колесами.

Врядъ ли возможно широкое распространеніе пользованія силой вѣтра въ большихъ размѣрахъ при помощи вѣтряныхъ колесъ при современныхъ техническихъ и экономическихъ условіяхъ. Весьма вѣроятно, что вѣтряныя колеса получатъ еще бо́льшее распространеніе, чѣмъ теперь, но всегда они будутъ примѣняться только въ исключительныхъ случаяхъ и при небольшихъ установкахъ. Для полученія же силы въ большихъ размѣрахъ они не могутъ найти примѣненія.

Водяные двигатели и пользованіе силою воды.

Общій обзоръ. Вододѣйствующія колеса. Турбины. Водостолбовыя машины. Пользованіе силою воды.

Всѣ гидравлическіе двигатели или машины для утилизаціи водяной силы, т.-е. служащіе для превращенія или преобразованія энергіи, заключающейся въ текущей водѣ въ полезную механическую силу, служащую для приведенія въ дѣйствіе исполнительныхъ механизмовъ рабочихъ машинъ, могутъ быть раздѣлены на двѣ главныя группы: на вододѣйствующія колеса и водостолбовыя машины. Въ первыхъ движущаяся вода приводитъ въ непрерывное вращеніе колесо, насаженное на валъ; во вторыхъ же вода, дѣйствуя давленіемъ на плотно входящій въ цилиндръ поршень, приводитъ его въ прямолинейное движеніе впередъ и назадъ. Прежде всегда, и теперь еще весьма часто дѣлаютъ чисто внѣшнее подраздѣленіе вододѣйствующихъ колесъ на вертикальныя и горизонтальныя; первыя, называемыя ради краткости просто вододѣйствующими колесами въ узкомъ смыслѣ, вращаются вокругъ горизонтальнаго вала; послѣднія же, турбины, имѣютъ вертикальную ось. Въ настоящее время дѣлаютъ другое, лучшее подраздѣленіе соотвѣтственно способу дѣйствія колесъ и придаютъ обозначеніямъ

„вододѣйствующее колесо“ и „турбина“ другой смыслъ. Въ вододѣйствующихъ колесахъ вода вообще или по преимуществу дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ, въ турбинахъ же своею живою силою, именно давленіемъ и реакціей. Однако различіе это проводится не вездѣ строго; такъ напр. колесо Понселе, гдѣ, какъ увидимъ далѣе, вода дѣйствуетъ главнымъ образомъ давленіемъ, подобно тому, какъ и въ турбинахъ, обыкновенно причисляется къ водянымъ колесамъ. Наоборотъ, вертикальное колесо Пельтона ошибочно причисляется къ турбинамъ.

Какъ и всѣ двигатели, вододѣйствующія колеса никогда, даже при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ и при лучшихъ конструкціяхъ, не утилизируютъ вполнѣ всю энергію, заключающуюся въ притекающей водѣ и разсчитанную по количеству ея и по ея напору, т. е. по разности уровней воды въ пріточномъ и спускномъ каналахъ. Не *считая потерь на треніе вала, никогда вся вода не идетъ въ дѣло*; часть ея просачивается; часть энергіи воды теряется для практическаго пользованія ею при ударѣ при входѣ въ колесо, точно такъ, какъ при вихревомъ движеніи. Какъ и у всѣхъ двигателей, остающаяся по вычетѣ всѣхъ потерь энергія, т. е. полезная работа двигателя, *получаемая прямо на валу, называется эффективной силой*, и отношеніе ея къ теоретически возможной, вычисленной по количеству воды и ея напору, выраженное въ видѣ дроби или въ процентахъ, называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія или отдачей. Напоръ выражается въ метрахъ, количество воды въ литрахъ въ секунду (*sl*) или при большихъ количествахъ въ кубическихъ метрахъ въ секунду (scbm), т. е. число литровъ или кубическихъ метровъ, притекающихъ въ колесо въ секунду. Если назовемъ количество протекающей черезъ колесо воды черезъ Q въ кубическихъ метрахъ въ секунду и напоръ черезъ H, то теоретическая мощность, совершенно независимо отъ того, какимъ гидравлическимъ двигателемъ мы пользуемся, будетъ $Q.\ 1000.\ H$ килограммометровъ въ секунду или $\frac{Q.\ 1000.\ H.}{75}$ лошадиныхъ силъ.

При выполненіи установокъ, работающихъ водяною силою, весьма важно предварительное точное опредѣленіе того **количества воды**, на которое съ достовѣрностью можно разсчитывать. Во многихъ случаяхъ это опредѣленіе не совсѣмъ просто, а для большихъ установокъ часто требуются многолѣтнія предварительныя изысканія и измѣренія, такъ какъ количество воды въ источникахъ и рѣкахъ не только подвержено измѣненію въ зависимости отъ *различнаго времени одного и того же года, но мѣняется и въ теченіи нѣсколькихъ послѣдовательныхъ лѣтъ*. Существуютъ устройства, проектированныя и уже выполненныя послѣ недостаточныхъ предварительныхъ изысканій; впослѣдствіи они были признаны основанными на ошибочныхъ разсчетахъ, такъ какъ вслѣдствіе недостаточнаго количества притока воды гидравлическія машины не *могли на нихъ работать полною силою въ теченіе* бо́льшаго промежутка времени. Гдѣ мѣстныя условія формы поверхности земли благопріятны, тамъ можно колебанія въ количествѣ притекающей воды сравнять тѣмъ, что собираютъ воду въ большомъ запасномъ бассейнѣ, и избытокъ воды во время большаго ея притока сберегають для мѣсяцевъ съ недостаточнымъ ея притокомъ. Это имѣетъ мѣсто, напр. при пользованіи естественными водными бассейнами или при искусственно устроенныхъ запрудахъ, которыми запруживаютъ долину рѣки, образуя выше запруды озеро съ большимъ количествомъ воды.

При всѣхъ установкахъ, дѣйствующихъ водяною силою, за немногими исключеніями, именно, гдѣ колесо работаетъ прямо въ самой рѣкѣ, необходимы: для притока воды приточный каналъ, или особые трубопроводы и отводной каналъ. Рѣка обыкновенно перегораживается попе-

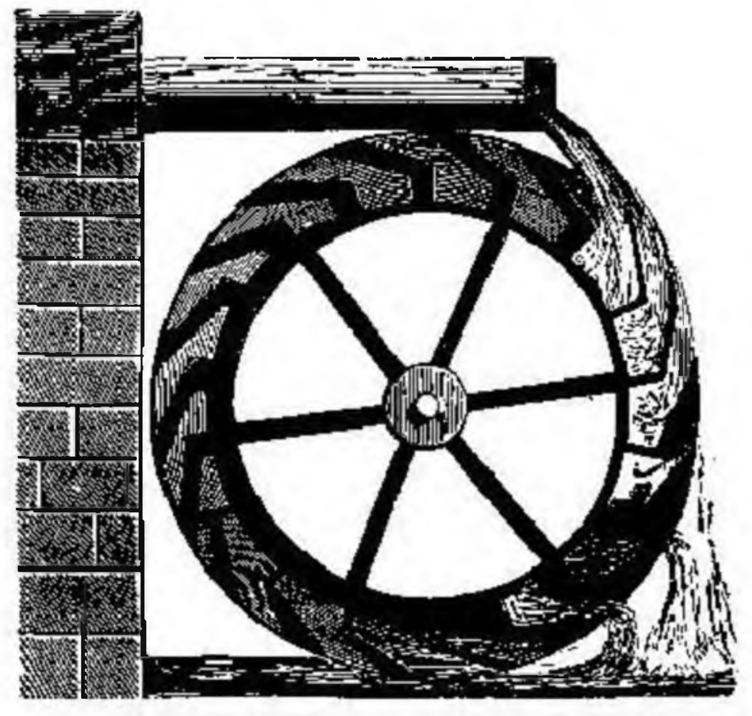
речной плотиной, такъ что вода должна течь по приточному каналу черезъ двигатель. Для регулированія притока воды служатъ затворы, расположенные въ приточномъ каналѣ или при водопроводныхъ трубахъ; запирающіе трубы запоры, могущіе быть установленными на пропускъ различнаго количества воды. Водоотливной каналъ служитъ для спуска излишка воды.

Вопросъ о томъ, какому изъ трехъ вышеназванныхъ гидравлическихъ двигателей отдать предпочтеніе при пользованіи данной водяною силою, не можетъ быть рѣшенъ вообще, но только въ каждомъ частномъ случаѣ по разсмотрѣніи всѣхъ особыхъ обстоятельствъ, которыя могутъ благопріятствовать тому или другому двигателю; при этомъ надо принять во вниманіе какъ то, къ чему предназначенъ данный двигатель, такъ и ту работу, которую онъ долженъ выполнять. Водостолбовыя машины употребляются сравнительно рѣдко и то только для спеціальныхъ цѣлей. Вододѣйствующія колеса вообще относительно ихъ коэффиціента полезнаго дѣйствія стоятъ ниже турбинъ. Въ послѣднихъ при современномъ состояніи техники этого дѣла можно разсчитывать на отдачу въ 80% и болѣе, тогда какъ вододѣйствующія колеса имѣютъ по большей части коэффиціентъ полезнаго дѣйствія значительно низшій. Только очень хорошо выполненныя, большія верхнебойныя или верхненаливныя вододѣйствующія колеса при благопріятныхъ условіяхъ имѣютъ отдачу въ 80% и болѣе. Вододѣйствующія колеса работаютъ вообще при маломъ числѣ оборотовъ, если они должны имѣть большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, вслѣдствіе этого между валомъ и быстро идущими исполнительными механизмами приходится включать передачи. Турбины, наоборотъ, идутъ съ гораздо большею скоростью, вслѣдствіе чего они въ особенности пригодны для приведенія въ дѣйствіе быстро идущихъ механизмовъ, которые въ данномъ случаѣ могутъ быть присоединяемы непосредственно къ валу. На данную мощность вододѣйствующія колеса имѣютъ большій размѣръ и тяжелѣе турбинъ; они занимаютъ много мѣста и кромѣ того по большей части дороже послѣднихъ. Турбины страдаютъ отъ льда зимою только въ рѣдкихъ случаяхъ при неблагопріятныхъ обстоятельствахъ; наоборотъ при вододѣйствующихъ колесахъ образованіе льда прерываетъ ихъ работу и кромѣ того льдомъ могутъ повреждаться лопатки колеса. Ввиду всего этого въ новѣйшее время при значительномъ усовершенствованіи турбинъ, послѣднія все болѣе и болѣе вытѣсняютъ вододѣйствующія колеса, въ особенности при большихъ напорахъ, въ 10 и болѣе метровъ; для сколько нибудь значительныхъ установокъ употребляются почти исключительно турбины. Тѣмъ не менѣе, въ нѣкоторыхъ случаяхъ представляютъ извѣстныя преимущества и вододѣйствующія колеса; напр., если въ существующей уже установкѣ испортится вододѣйствующее колесо, то слѣдуетъ предпочесть устройство новаго колеса, такъ какъ при этомъ остаются всѣ остальныя части установки, какъ то каналы, затворы и т. п. Для малыхъ установокъ для промышленныхъ цѣлей, какъ—то: для мельницъ, лѣсопиленъ, въ особенности въ удаленныхъ мѣстностяхъ, вододѣйствующія колеса имѣютъ то преимущество, что исправленіе ихъ можетъ быть производимо на мѣстѣ самими владѣльцами или рабочими, не прибѣгая къ помощи, по большей части дорогой и сопряженной съ большими хлопотами, машиностроительныхъ заводовъ, безъ которыхъ нельзя обойтись при порчѣ желѣзныхъ частей турбинъ. Въ мѣстностяхъ, лежащихъ далеко отъ промышленныхъ городовъ, при отсутствіи удобнаго желѣзнодорожнаго и пароходнаго сообщенія, при худыхъ перевозочныхъ средствахъ, напр. въ гористыхъ мѣстностяхъ, установка турбинъ сопряжена съ извѣстными затрудненіями; наоборотъ, деревянныя вододѣйствующія колеса могутъ быть сдѣланы тамъ изъ находящагося подъ руками матеріала мѣстными рабочими.

Вододѣйствующія колеса.

Историческій обзоръ. Подраздѣленіе вододѣйствующихъ колесъ. Верхнебойныя колеса. Заднебойныя колеса. Большое вододѣйствующее колесо Saxey-glen-mines. Подливное колесо. Колесо Понселе. Среднебойное колесо. Колесо Зуппингера. Судовыя мельничныя колеса. Поршневыя и цѣпныя колеса.

Имя изобрѣтателя вододѣйствующихъ колесъ, точно такъ же, какъ вѣтряныхъ мельницъ, неизвѣстно. Повидимому, ихъ изобрѣтали повторно въ различное время въ разныхъ странахъ. Доказано, что изобрѣтеніе вододѣйствующихъ колесъ относится къ глубокой древности; повидимому, они примѣнялись въ соединеніи съ водоподъемными машинами сперва въ Египтѣ и Ассиріи, а впослѣдствіи въ Греціи и Римѣ. Имѣются свѣдѣнія о различныхъ вододѣйствующихъ колесахъ въ Малой Азіи и въ Римѣ, относящіяся къ серединѣ перваго столѣтія до Р. Хр. Въ одномъ изъ сочиненій жившаго во времена императора Августа римскаго зодчаго Витрувія помѣщено описаніе употреблявшихся въ то время вододѣйствующихъ колесъ: „Къ внѣшнимъ частямъ колесъ прикрѣплены лопатки, на которыя дѣйствуетъ ударомъ текущая вода и которыя вращаютъ колесо. Черпая, такимъ образомъ, воду и подымая ее на большую высоту, они выполняютъ потребную работу безъ работы поденщиковъ на топчакахъ, исключительно дѣйствіемъ самой же воды (такимъ образомъ они замѣняютъ собою топчаки, приводимые въ дѣйствіе людьми). Такимъ же образомъ приводятся въ движеніе мукомольныя мельницы и т. д.“ Эти водяныя мельницы были расположены внѣ города Рима, на каналахъ, снабжавшихъ городъ питьевой водой. Вѣроятно, это были подливныя (низобойныя) колеса, въ которыхъ текущая съ небольшимъ напоромъ вода дѣйствовала только на нижнюю часть окружности колеса; сила, развиваемая ими, была незначительна. Тогдашній дешевый трудъ рабовъ былъ причиною тому, что водяныя мельницы распространялись весьма медленно и еще долгое время оставались во всеобщемъ употребленіи ручныя мельницы и мельницы, приводимыя въ движеніе животными. Во времена императора Юстиніана, когда остготы въ теченіе двухъ лѣтъ безуспѣшно осаждали Римъ и отвели воду изъ 14 каменныхъ водопроводовъ, приводившихъ въ дѣйствіе вододѣйствующія колеса въ городѣ, знаменитый полководецъ Юстиніана, Велизарій, распорядился помѣстить мельницы на мелкія суда и спустить ихъ на Тибръ, гдѣ они и приводились въ дѣйствіе непосредственно теченіемъ рѣки, безъ какихъ-либо плотинъ или каналовъ; здѣсь мы видимъ первое примѣненіе мельницъ.



794. Верхнебойное вододѣйствующее колесо.

Первыя свѣдѣнія о водяныхъ мельницахъ въ Германіи относятся къ концу 4-го столѣтія по Р. Хр. Въ теченіи многихъ столѣтій они остаются, повидимому, мало извѣстными и мало употребительными. Въ 11 и 12 столѣтіяхъ они наоборотъ уже сильно распространены въ Германіи и во Франціи. Около половины 11-го столѣтія въ Венеціи были въ ходу вододѣйствующія колеса, приводимыя въ движеніе не теченіемъ рѣки, но морскими приливами и отливами; отсюда видно, что высказываемая въ новѣйшее время

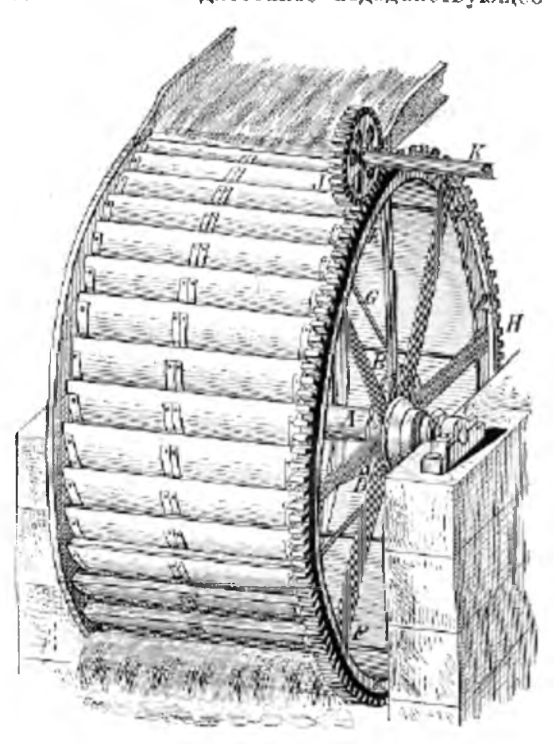
мысль о возможности воспользоваться для данной цѣли громадною силою приливовъ и отливовъ совсѣмъ не нова.

Въ началѣ 17-го столѣтія началась научная разработка способа дѣйствія и вопроса о построеніи вододѣйствующихъ колесъ. Однако только съ половины 18-го столѣтія вступили на вѣрный путь и пришли къ удовлетворительнымъ результатамъ; было доказано, что одно и то же количество воды при одной и той же высотѣ паденія развиваетъ значительно большую силу, если она дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ, а не ударомъ; въ виду этого верхнебойныя колеса имѣютъ преимущества передъ подливными (низобойными). Такъ какъ съ другой стороны подливныя колеса имѣютъ нѣкоторыя преимущества вслѣдствіе своей большей простоты, большей скорости вращенія и меньшей величины, то начали усиленно стремиться строить подливныя колеса такъ, чтобы вода въ нихъ дѣйствовала по преимуществу давленіемъ и по возможности безъ удара. Въ первый разъ это было достигнуто французскимъ инженеромъ Понселе, который снабдилъ подливныя колеса изогнутыми лопатками; этимъ онъ внесъ совершенно новыя основанія въ дѣло построенія вододѣйствующихъ колесъ. 50 лѣтъ тому назадъ старая теорія вододѣйствующихъ колесъ была вся заново переработана, расширена и исправлена, главнымъ образомъ, нѣмецкими инженерами, въ особенности Вейсбахомъ и Редтенбахеромъ; въ настоящее время построеніе вододѣйствующихъ колесъ уже твердо обосновано на научныхъ основаніяхъ и на опытныхъ данныхъ.

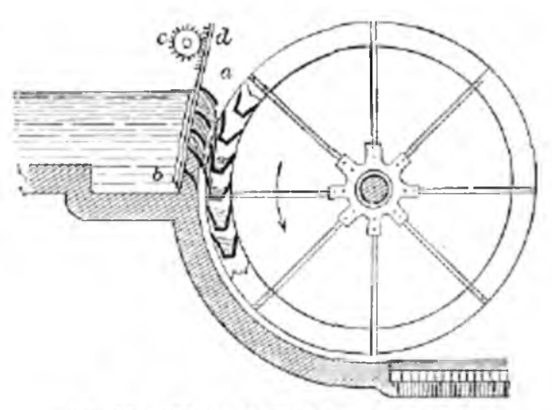
Раздѣленіе вододѣйствующихъ колесъ. Смотря по положенію мѣста входа воды въ колесо, раздѣляютъ вододѣйствующія колеса по особенностямъ устройства впуска воды и лопатокъ на верхнебойныя (верхненаливныя), среднебойныя (средненаливныя) или заднебойныя (боковыя) и низобойныя (подливныя) колеса; далѣе различаютъ еще среднебойныя и полусреднебойныя колеса, смотря по тому мѣсту, гдѣ поступаетъ вода, на высотѣ ли оси колеса или между нею и нижней точкой колеса. Въ послѣднемъ случаѣ колесо отъ мѣста поступленія воды до нижней его части окружено концентрическимъ, охватывающимъ колесо желобомъ или кожухомъ, назначеніе котораго воспрепятствовать водѣ сейчасъ же стекать съ лопатокъ; такимъ колесамъ вслѣдствіе этого даютъ общее названіе среднебойныхъ колесъ. Кромѣ этихъ главныхъ раздѣленій дѣлаютъ еще различныя подраздѣленія вододѣйствующихъ колесъ.

Въ верхнебойныхъ вододѣйствующихъ колесахъ вода поступаетъ у самой верхушки колеса или немного ниже; уровень воды внизу долженъ касаться окружности колеса; діаметръ колеса равенъ, такимъ образомъ, напору, откуда слѣдуетъ, что эти колеса непримѣнимы при большихъ напорахъ, такъ какъ тогда они имѣли бы слишкомъ большіе размѣры. Вода въ нихъ дѣйствуетъ, главнымъ образомъ, своимъ вѣсомъ; она поступаетъ наверху съ малой скоростью, а слѣдовательно съ малымъ ударомъ или совсѣмъ безъ удара, въ находящіяся по окружности ковшеобразныя лопатки, нагружаетъ колесо съ одной стороны, и приводитъ его, такимъ образомъ, во вращеніе и стекаетъ внизу. Подводящій желобъ доходитъ до вершины колеса; регулированіе притока воды производится просто затворами. Рис. 795 представляетъ колесо болѣе новаго устройства. Радіальные выступы колеса *BE*, *BF*, *BH* и т. д. неизмѣнно скрѣплены винтами съ ободами или дисками *BD*, насаженными на валъ *AC*. Колеса обыкновенно дѣлаются очень широкими и для крѣпости имѣютъ еще въ серединѣ вѣнецъ съ радіальными ручками; на внѣшнюю часть обода колеса насаживается зубчатое колесо, захватывающее меньшее колесо *K*, насаженное на валъ *J*, которымъ и передается работа на трансмиссію. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія такихъ колесъ достигаетъ 80 %.

Въ **заднебойныхъ** (средненаливныхъ) **колесахъ** вода поступаетъ въ колесо или на высотѣ его оси, или по верхней части окружности, но ниже уровня верхней воды. Черезъ затворъ вода впускается различными способами; рис. 796 представляетъ средненаливное заднебойное вододѣйствующее колесо съ впускомъ съ перегородками. Затворъ *bd* снабженъ нѣкоторымъ числомъ изогнутыхъ направляющихъ порогородокъ *a*, по которымъ вода стекаетъ въ ковши (лопатки) въ видѣ ведеръ; сообразно количеству воды образуемые кулиссой *a* каналы могутъ быть болѣе или менѣе открываемы для впуска воды перестановкой затвора при помощи зубчатаго колеса *c*, захватывающаго верхнюю, снабженную зубцами, часть затвора; съ внутренней стороны между лопастями должны быть оставляемы вентиляціонныя окошки или прорѣзы для свободнаго выхода воздуха при впускѣ воды; колесо должно быть „вентилируемо". Средненаливныя заднебойныя колеса имѣютъ, однако, меньшій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, чѣмъ хорошія верхнебойныя, — обыкновенно 65—70%; они, однако, имѣютъ нѣкоторыя преимущества сравнительно съ послѣдними при перемѣнномъ количествѣ рабочей воды, такъ какъ въ такихъ условіяхъ верхненаливныя верхнебойныя колеса не могутъ работать экономично.

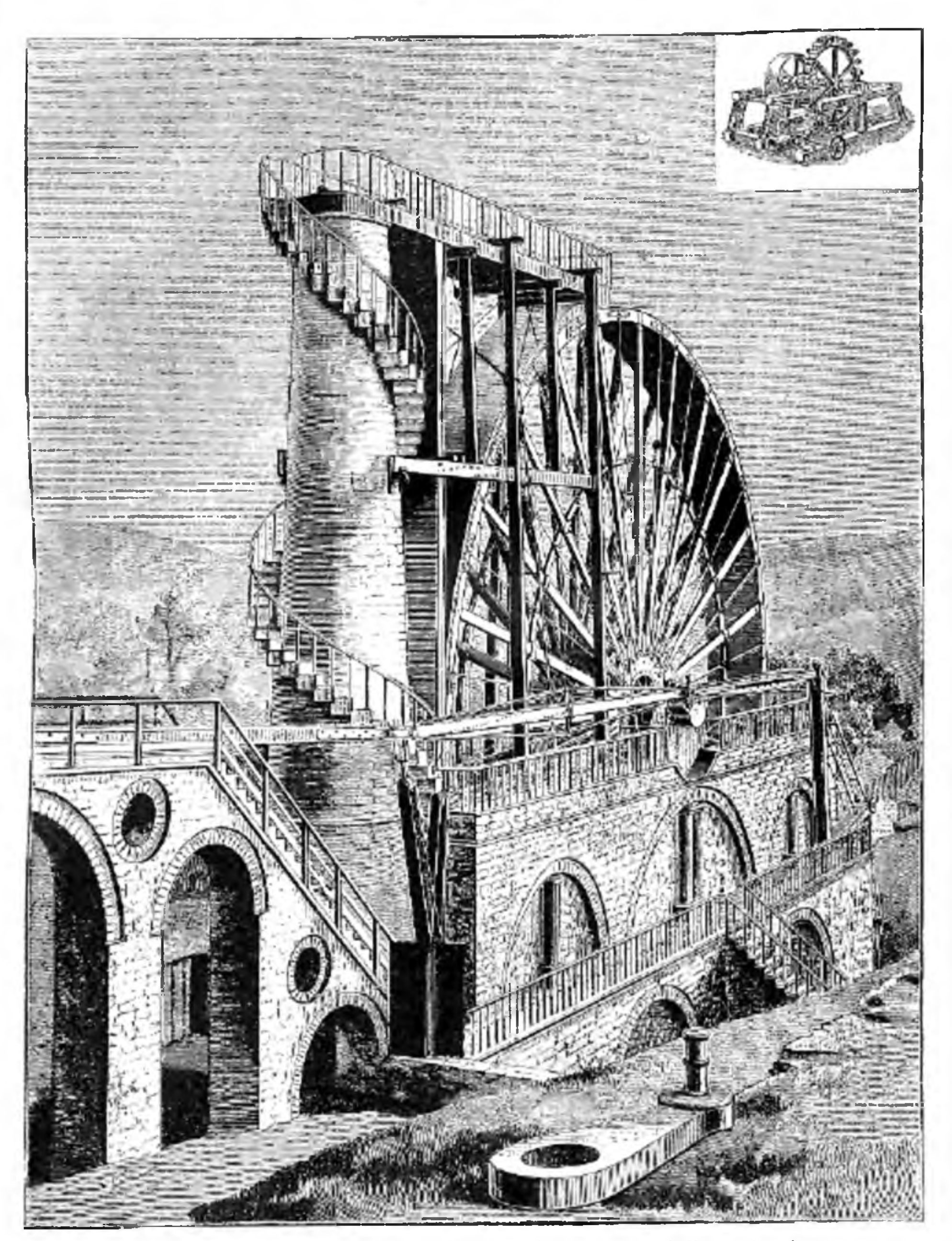


795. Желѣзное верхнебойное вододѣйствующее колесо.



796. Заднебойное вододѣйствующее колесо.

Одно изъ самыхъ большихъ вододѣйствующихъ колесъ въ свѣтѣ — это средненаливное заднебойное колесо въ Гренокѣ въ Шотландіи, въ устьѣ р. Клейдъ, на большой бумагопрядильнѣ. Громадное колесо, все изъ желѣза, имѣетъ поперечникъ въ 21,35 м. и шириною въ $3\frac{1}{2}$ м.; оно расходуетъ 1 куб. м. воды въ 1 сек. при напорѣ въ 19,5 м. и дѣлаетъ $1\frac{1}{2}$ оборота въ минуту. Еще больше средненаливное заднебойное вододѣйствующее колесо, представленное на рис. 797 и приводящее въ дѣйствіе откачивающіе насосы въ Saxey-glen-mines на восточномъ берегу острова Мэнъ (Англія). Оно имѣетъ въ поперечникѣ 22 м и ширину въ 1,80 м. Для приведенія его въ дѣйствіе служитъ вода, собираемая съ пересѣкающаго островъ горнаго кряжа въ резервуары и подводимая къ колесу подземнымъ каналомъ. У колеса вода поднимается въ башню и изъ нея по желобу течетъ въ ковши колеса. Мощность колеса при одномъ оборотѣ въ минуту достигаетъ 200 лошадиныхъ силъ; валъ колеса при посредствѣ кривошипа дѣйствуетъ

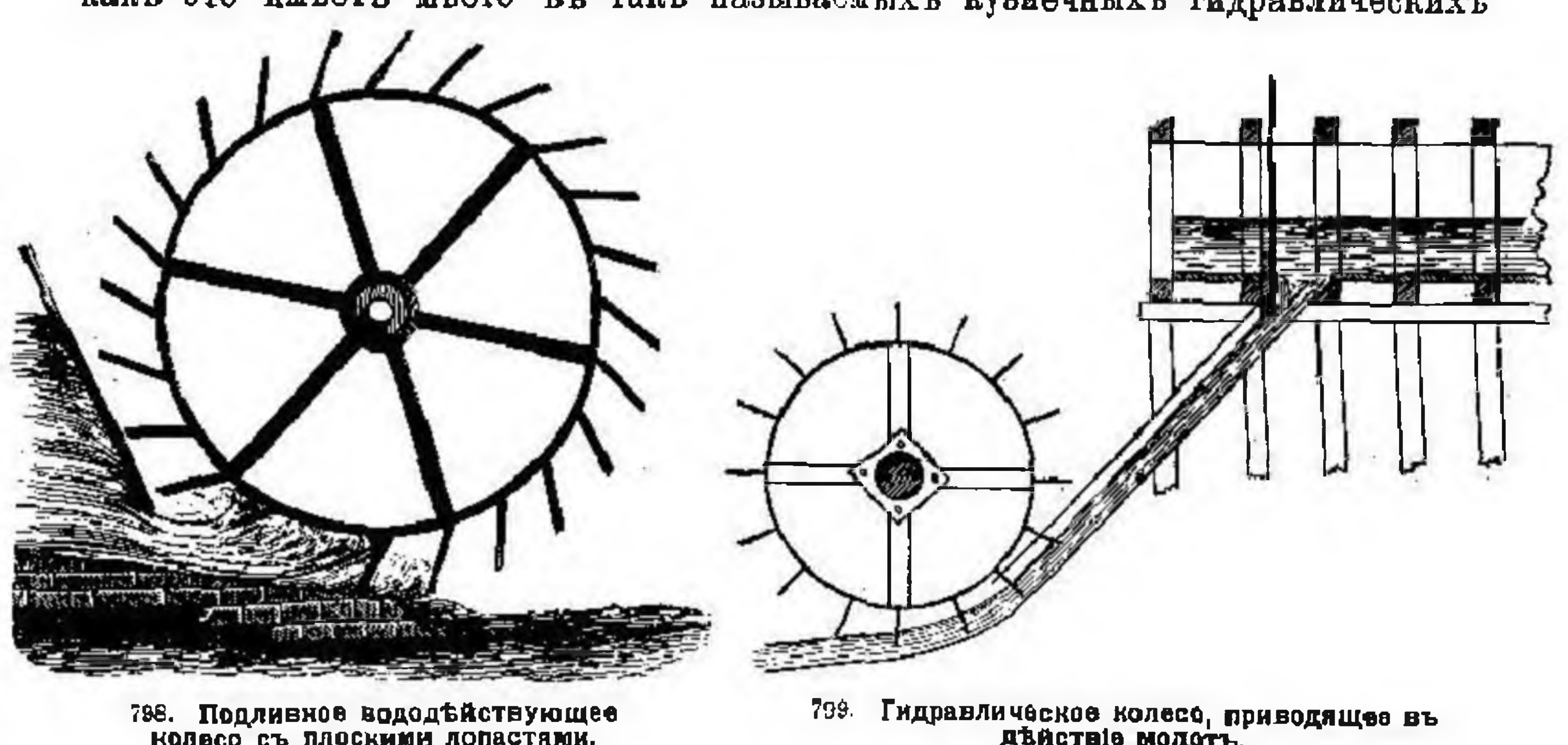


797. **Justify Вододѣйствующее колесо Saxey-glen-mines на островѣ Мэнъ (Англія).**
Въ верхней части справа представлено въ томъ же масштабѣ на одинаковую силу колесо Пельтона (стр. 675).
(„Scientific American").

на шатунъ, приводящій въ движеніе при помощи крестовидной желѣзной тяги (колѣнчатый рычагъ) стержни двухъ откачивающихъ насосовъ; послѣдніе поднимаютъ въ минуту $6^{1}/_{2}$ куб. метровъ воды съ глубины 120 метровъ.

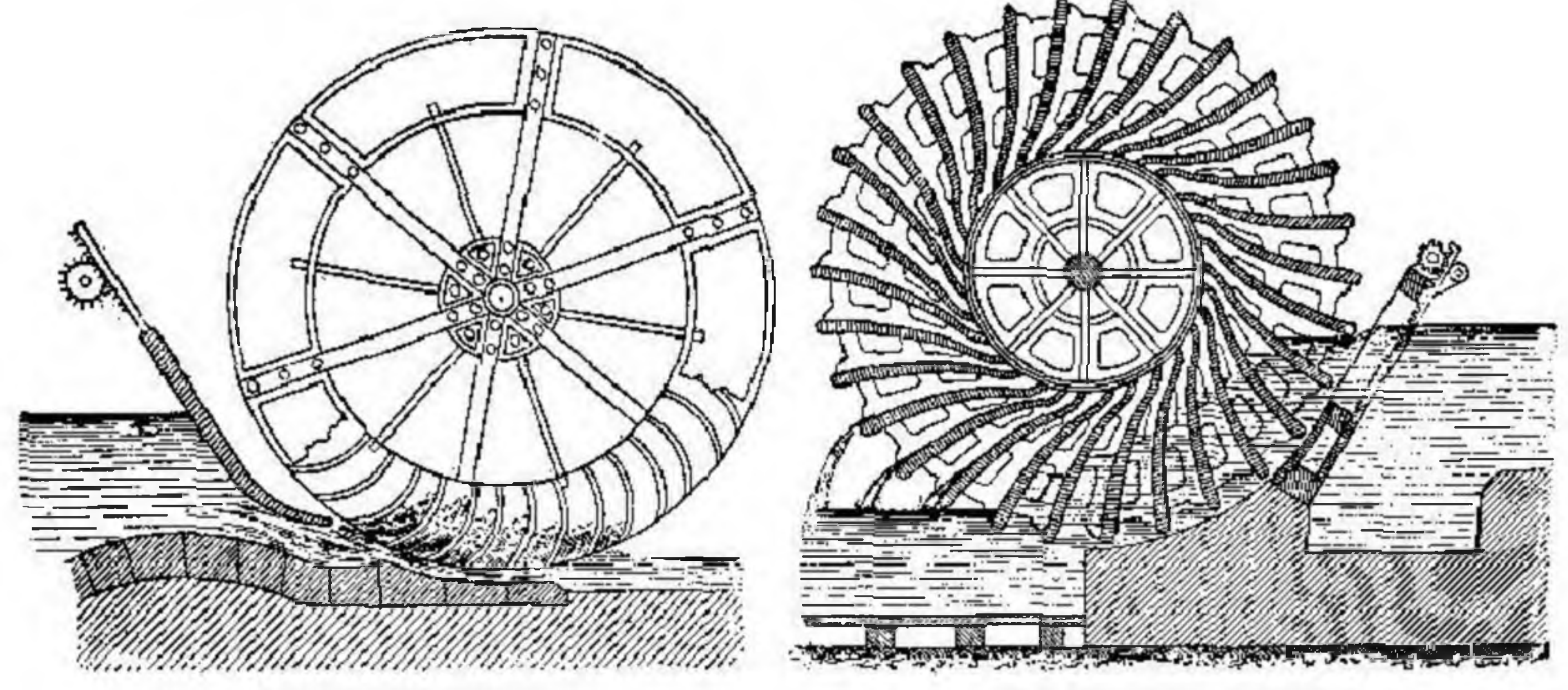
Наиболѣе простыя и менѣе сложныя по конструкціи и вслѣдствіе этого менѣе экономичныя изъ низобойныхъ (подливныхъ) вододѣйствующихъ

колесъ это тѣ, которыя имѣютъ прямые желоба и плоскія лопатки. На рис. 798 представлено схематически такое колесо. *Въ этомъ чисто подливномъ* низобойномъ колесѣ вода дѣйствуетъ только ударомъ; въ виду этого коэффиціентъ полезнаго дѣйствія даже при лучшихъ устройствахъ и выполненіи всегда невеликъ, только 30—35 %. Нѣсколько экономичнѣе работаютъ колеса съ плоскими лопатками *при закругленномъ у колеса желобѣ*, какъ это имѣетъ мѣсто въ такъ называемыхъ кузнечныхъ гидравлическихъ



798. Подливное вододѣйствующее колесо съ плоскими лопастями.

799. Гидравлическое колесо, приводящее въ дѣйствіе молотъ.



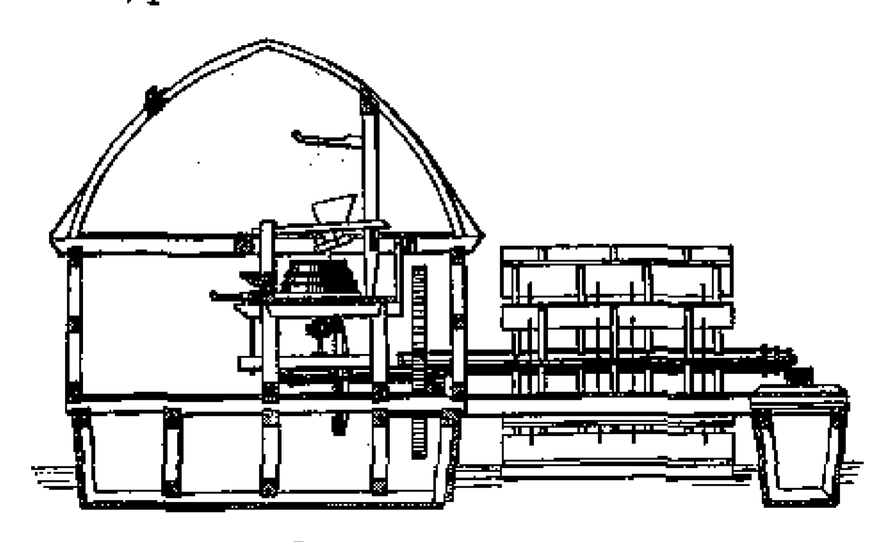
800. Колесо Понселе.

801. Колесо Зуппингера.

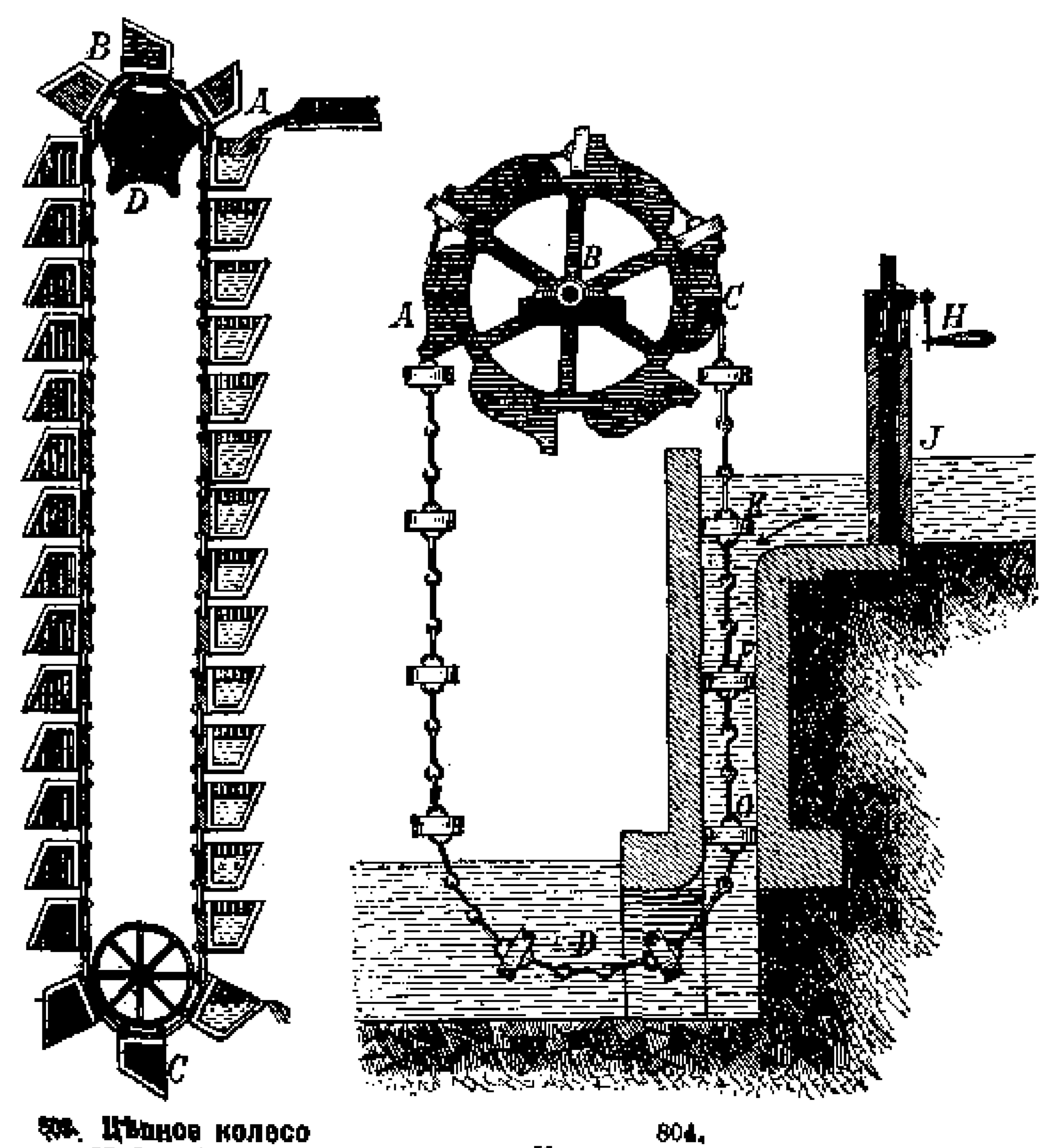
колесахъ (см. рис. 799); тамъ вода, по крайней мѣрѣ, отчасти дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ. Такія колеса съ изогнутыми желобами съ давнихъ поръ употребляются для приведенія въ дѣйствіе молотовъ въ небольшихъ кузницахъ, въ особенности въ горныхъ мѣстностяхъ, гдѣ имѣется въ изобиліи водяная сила съ большимъ излишкомъ воды; они имѣютъ передъ верхненаливными (верхнебойными) колесами то преимущество, что имѣютъ большую скорость вращенія. Еще и теперь существуютъ такія колеса въ горныхъ странахъ, удаленныхъ отъ промышленныхъ городовъ, напр. въ средней Германіи и въ особенности въ Штейермаркѣ на небольшихъ кузницахъ.

Для возможно лучшаго пользованія водяною силою при напорѣ въ $^1/_2$—$1^1/_2$ м. и для полученія большаго числа оборотовъ лучше всего *при-*

годно вертикальное колесо Понселе. Колесо Понселе (рис. 800) имѣетъ криволинейныя лопатки, изогнутое по опредѣленной кривой русло и наклонный, расположенный возможно ближе къ колесу щитъ; такимъ способомъ вода подводится къ колесу при особо благопріятныхъ условіяхъ; она поступаетъ въ лопатки безъ удара, протекая между русломъ и щитомъ въ строго опредѣленномъ направленіи, подымается по лопаткамъ вверхъ и передаетъ при этомъ живую силу колесу. При хорошемъ устройствѣ и правильной конструкціи *въ этихъ колесахъ возможно* достигнуть коэффиціента полезнаго дѣйствія въ 60—70%. Щитъ устанавливается зубчатой шестерней, снабженной рукояткой и захватывающей зубчатую рейку верхней части щита.


802. Судовое мельничное колесо.

Подливныя колеса устраиваются различнымъ образомъ, съ прямыми и изогнутыми лопатками, съ пропускными, водосливными и рѣшетчатыми щитами; о послѣднихъ уже было говорено ранѣе. Пропускными щитами называются такіе, въ которыхъ вода протекаетъ подъ щитомъ (какъ на рис. 800), тогда какъ въ водосливныхъ затворахъ она стекаетъ черезъ верхній его край. Рис. 801 представляетъ названное по имени его изобрѣтателя колесо Зуппингера съ водосливнымъ щитомъ; это колесо пригодно въ особенности для водяныхъ силъ съ незначительною высотою паденія (съ незначительнымъ напоромъ).



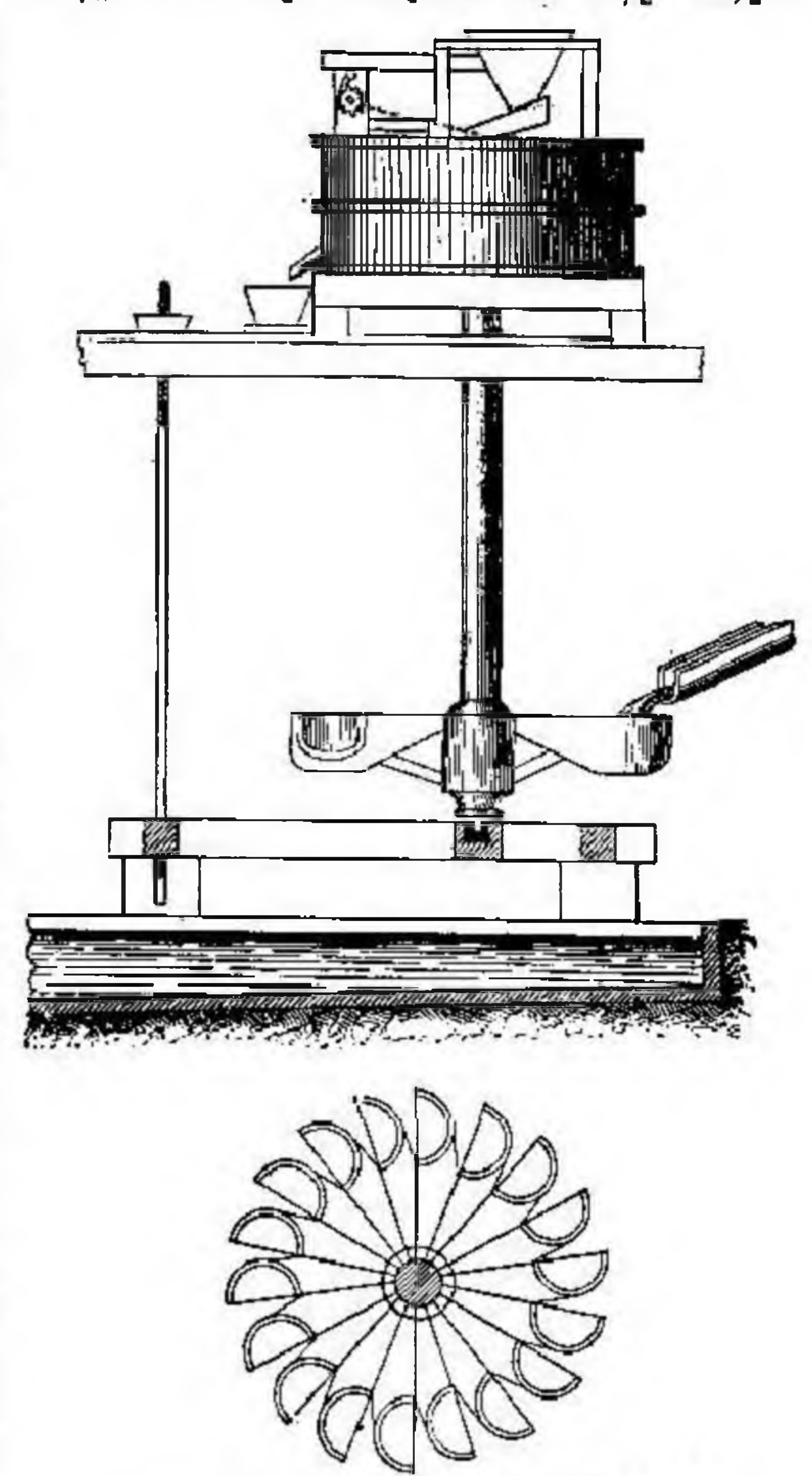
803. Цѣпное колесо съ ведрами.

804. Колесо съ четками.

Къ подливнымъ (низобойнымъ) вододѣйствующимъ колесамъ принадлежатъ также и судовыя мельничныя колеса, приводимыя въ дѣйствіе непосредственно теченіемъ воды и, какъ было выше упомянуто, примѣненныя около 6-го столѣтія въ Римѣ Велизаріемъ. Теперь они примѣняются только въ единичныхъ случаяхъ при сильныхъ теченіяхъ. Рис. 802 представляетъ такое колесо; широкое плоскодонное судно, установленное на якорѣ, снабжено деревянною надстройкою, заключающею въ себѣ

мельницу; сбоку выступаетъ ось колеса, лежащая съ другой стороны на особомъ, соединенномъ накрѣпко балками съ судномъ поплавкѣ. Колесо погружено лопатками въ воду и приводится въ дѣйствіе теченіемъ воды; поперечникъ такихъ колесъ достигаетъ $3^1/_2$—7 м. при ширинѣ въ $2^1/_2$—$4^1/_2$ и даже $5^1/_2$ м. Сила, развиваемая колесомъ, даже при большихъ его размѣрахъ и при сильномъ теченіи, невелика — одна или менѣе лошадиной силы.

Особый родъ вертикальныхъ вододѣйствующихъ колесъ представляютъ цѣпныя колеса и колеса, приводимыя въ дѣйствіе четками. Рис. 803 изображаетъ цѣпное колесо съ ведрами; какъ видно по рисунку, это какъ бы перевернутое водоподъемное колесо, уже упомянутое раньше (1 отдѣл.); ведра *ABC* укрѣплены на цѣпи (изъ отдѣльныхъ звеньевъ), огибающей валъ *D*; валъ приводится во вращеніе вѣсомъ воды, наполняющей ведра съ одной его стороны. Колеса съ четками занимаютъ мѣсто между настоящими вододѣйствующими колесами и водостолбовыми машинами. Какъ изображено на рис. 804, цѣпь *ACD* огибаетъ колесо *ABC*; на цѣпи находятся круглыя, массивныя четки *EFG*. Цѣпь вмѣстѣ съ четками съ одной стороны проходитъ черезъ вертикальную круглаго сѣченія трубу, въ которую четки входятъ достаточно плотно. Притекающая вверху въ *E* вода давитъ, такимъ образомъ, на четки и приводитъ цѣпь и колесо въ движеніе. *I* представляетъ щитъ, устанавливаемый рукояткою *H*, для регулированія притока воды.



805 и 806. Старое горизонтальное вододѣйствующее колесо.

Тюрбины.

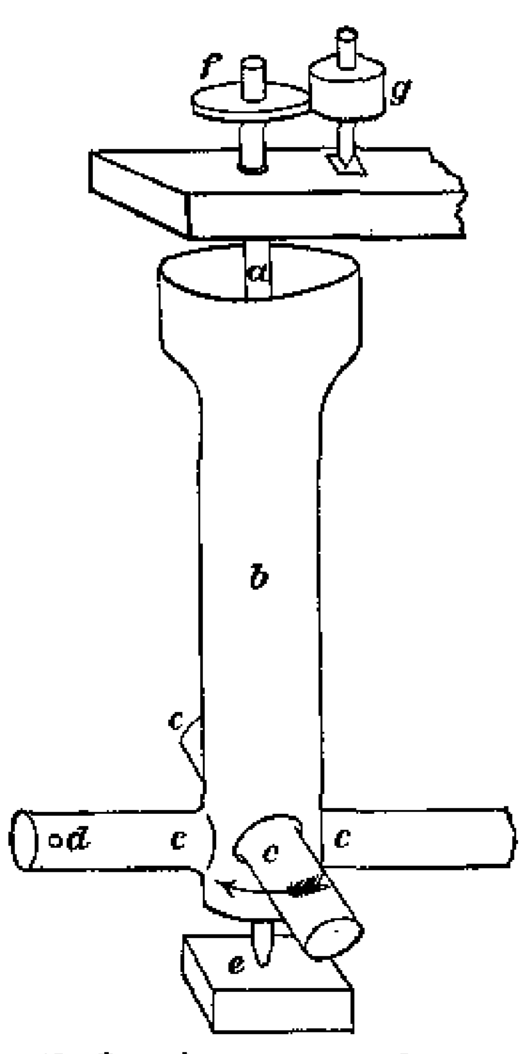
Историческое и техническое развитіе тюрбинъ. Старое горизонтальное вододѣйствующее колесо. Сегнерово водяное колесо. Тюрбина Фурнейрона. Первая тюрбина высокаго давленія. Осевая тюрбина Геншеля и Жонваля. Тангенціальная тюрбина. Нагель; Францисъ; Швамmкругъ; Жираръ. Различныя системы тюрбинъ. Радіальныя тюрбины полнаго дѣйствія, система Нагеля и Кемпа. Тюрбина Франциса. Партіальная тюрбина. Тюрбина Швамmкруга. Тангенціальное колесо. Колесо Пельтона. Тюрбины Геншеля-Жонваля. Приспособленія для регулированія. Тюрбины съ двойнымъ вѣнцомъ. Тюрбины Жирара полнаго дѣйствія и партіальныя. Сложныя тюрбины.

Историческое и техническое развитіе турбинъ.

Горизонтальныя вододѣйствующія колеса, приводимыя въ дѣйствіе ударомъ струи воды, употреблялись уже въ теченіе многихъ столѣтій къ различныхъ странахъ для приведенія въ дѣйствіе мукомольныхъ мельницъ, но

преимуществу тамъ, гдѣ водяная сила существовала въ избыткѣ и при большомъ напорѣ, какъ, напр., въ Пиренеяхъ, въ сѣверной Африкѣ, на Скандинавскомъ полуостровѣ. Въ одномъ сочиненіи, вышедшемъ уже 300 лѣтъ тому назадъ, существуетъ описаніе такихъ горизонтальныхъ вододѣйствующихъ колесъ. Они снабжены обыкновенно ложкообразными лопатками, на которыя съ боку по желобу попадаетъ вода, текущая съ большою скоростью; жерновъ насаживается обыкновенно на вертикальную ось колеса. Рис. 805 *представляетъ такое горизонтальное вододѣйствующее колесо*; оно въ діаметрѣ около 2 м.; на рис. 806 представлено въ разрѣзѣ вододѣйствующее колесо съ ложкообразными лопатками.

Послѣ того, какъ уже ранѣе упомянутый французскій ученый Даніилъ Бернулли въ 1730 году доказалъ въ своемъ сочиненіи о гидродинамикѣ дѣйствіе реакціи вытекающей изъ сосуда струи воды, Сегнеръ воспользовался этимъ принципомъ для устройства своего реакціоннаго вододѣйствующаго колеса. Рис. 807 взятъ изъ появившагося въ 1750 году сочиненія Сегнера о гидравлическихъ машинахъ; *a* представляетъ вертикальную ось всего прибора, оканчивающуюся пятой *e*; *b* — неизмѣнно соединенный съ осью сосудъ для воды, снизу имѣющій крестообразно расположенныя боковыя трубки *c*. Послѣднія на концахъ имѣютъ отверстія *d*, всѣ обращенныя въ одну и ту же сторону; вода вытекаетъ черезъ эти отверстія, и получающаяся при этомъ сила реакціи, дѣйствующая во всѣхъ четырехъ трубкахъ въ одну и ту же сторону, приводитъ во вращеніе весь приборъ вмѣстѣ съ осью *a*; вращеніе при помощи шкивовъ *f* и *g* передается далѣе. Пріоритетъ на этотъ первообразъ реакціонной тюрбины принадлежитъ Сегнеру, который не только теоретически и экспериментально изслѣдовалъ только что описанное колесо, но также примѣнилъ его практически въ большомъ размѣрѣ для полученія энергіи. Математикъ Эйлеръ болѣе подробно, чѣмъ Сегнеръ, разработалъ теорію реакціонныхъ тюрбинъ; онъ построилъ тюрбину иначе, чѣмъ Сегнеръ: разбилъ ее на двѣ части — неподвижное кольцо, изъ котораго вода вытекала отдѣльными струями подъ опредѣленнымъ, теоретически вычисленнымъ угломъ и попадала въ находящееся подъ нимъ колесо; неподвижное кольцо въ данномъ случаѣ соотвѣтствуетъ направляющему аппарату позднѣйшихъ тюрбинъ. Повидимому, тюрбинъ по проектамъ Эйлера не строилось.

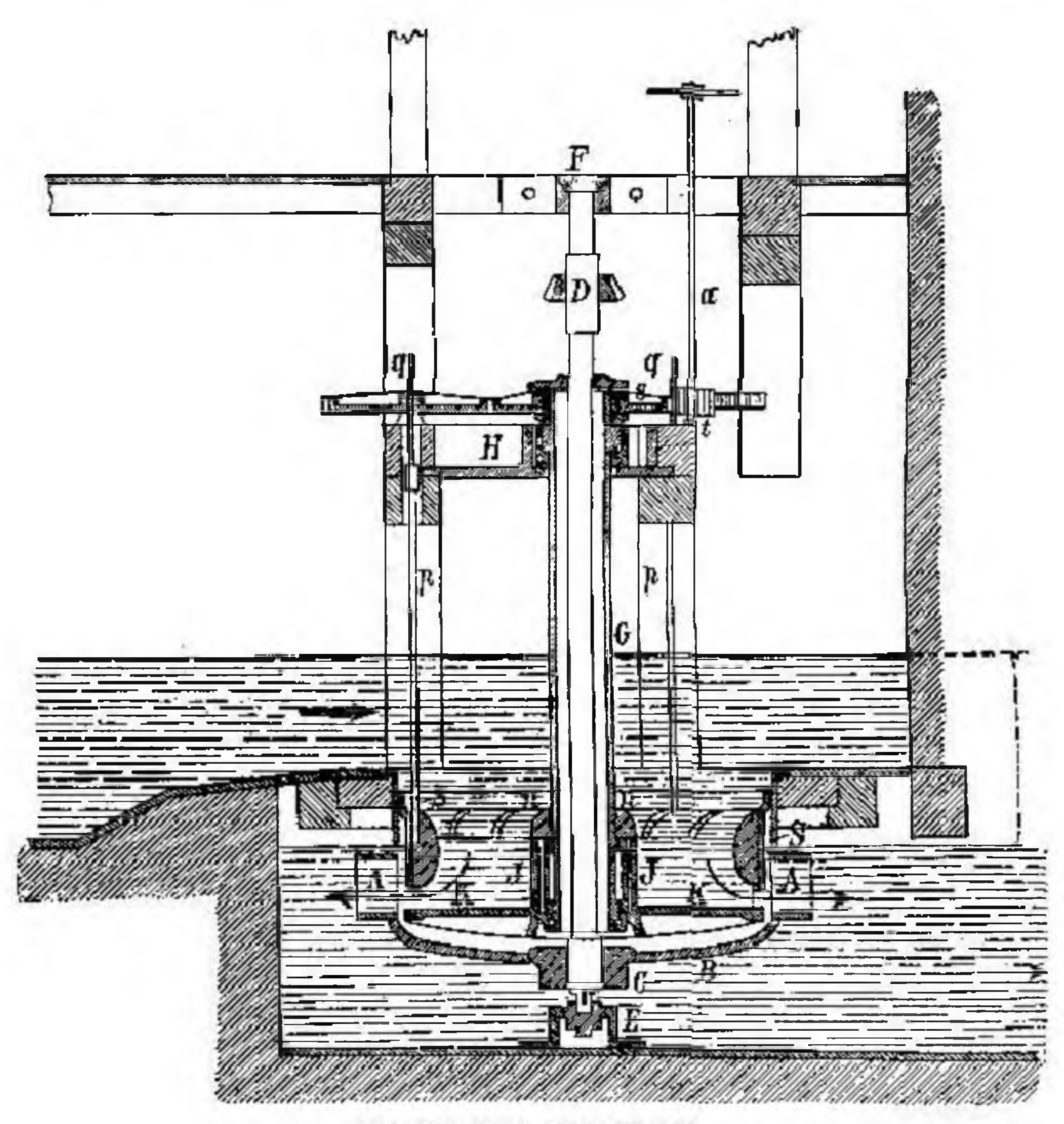


807. Реакціонное колесо Сегнера.

Позже, въ двадцатыхъ годахъ прошлаго столѣтія, французскіе инженеры Бурденъ, Понселе и Фурнейронъ строили тюрбины, изъ которыхъ имѣла успѣхъ *только тюрбина гражданскаго инженера Фурнейрона, такъ какъ только* ею было создано хорошее, примѣнимое на практикѣ горизонтальное вододѣйствующее колесо. Тюрбина эта состоитъ изъ двухъ концентрическихъ лежащихъ другъ противъ друга колесъ; внутреннее неподвижное представляетъ изъ себя направляющее колесо, внѣшнее — тюрбинное колесо.

Рис. 808 изображаетъ тюрбину Фурнейрона, первую выполненную модель; на рис. 809 изображено горизонтальное сѣченіе обоихъ колесъ; *A* представляетъ тюрбинное колесо съ изогнутыми лопатками *a*; *K* неподвижный направляющій аппаратъ тюрбины. Вода поступаетъ сверху черезъ направляющее колесо тюрбины

между его неподвижными лопатками и втекаетъ въ горизонтальномъ направленіи безъ удара по всей внутренней его окружности въ лопатки тюрбиннаго колеса, отдаетъ последнему свою живую силу и равномѣрно стекаетъ по внѣшней окружности послѣдняго. Тюрбинное колесо при помощи тарелки B и патрона C накрѣпко соединено съ вертикальнымъ валомъ D, ходящимъ въ подпятникѣ E; валъ окруженъ неподвижной трубой G, которая вверху укрѣплена въ H и снизу снабжена муфтою I и тарелкой K; къ послѣдней придѣланы изогнутыя направляющія лопатки. Для регулированія притока воды изъ направляющаго аппарата въ тюрбинное колесо служитъ цилиндрическій щитъ S, охватывающій направляющій аппаратъ k и устанавливаемый при помощи трехъ стержней p, такъ что стокъ для воды равномѣрно по всей окружности можетъ увеличиваться или уменьшаться,

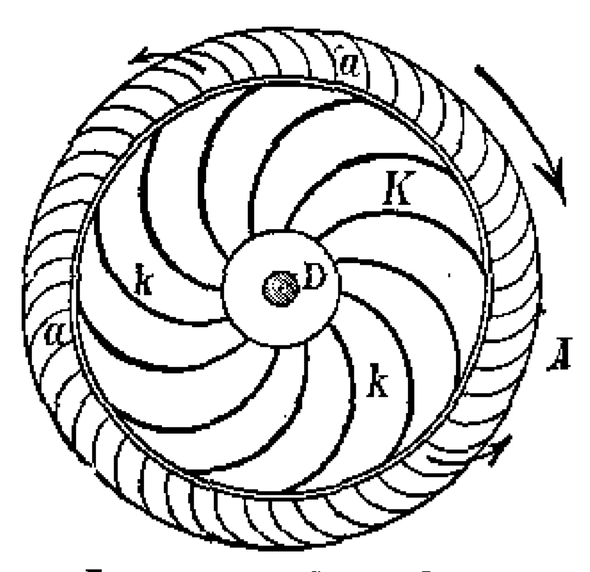


808. Тюрбина Фурнейрона.

или, наконецъ, совсѣмъ закрываться. Съ внутренней стороны кольцевого щита между направляющими лопатками, точно такъ же, какъ и на патронѣ J, имѣются закругленныя деревянныя насадки mn, благодаря которымъ вода течетъ изъ направляющихъ лопатокъ въ колесо тюрбины при возможно благопріятныхъ условіяхъ, параллельными струями. Щитъ по верхнему краю въ m снабженъ кожаной набивкой (кожанымъ манжетомъ), плотно прилегающей къ цилиндрическому сосуду и препятствующей вытеканію воды около щита. Три стержня p на верхнихъ своихъ частяхъ имѣютъ винтовыя нарѣзки q, гайки которыхъ помѣщены въ ступицы трехъ зубчатыхъ колесъ r; послѣднія всѣ находятся въ соединеніи со среднимъ зубчатымъ колесомъ S, которое свободно насажено на верхній конецъ неподвижной трубы G и которое можетъ вращаться вокругъ нея. При помощи небольшого колеса t съ осью a и съ ручнымъ маховикомъ на верху ея, возможно поворачивать какъ среднее колесо, такъ одновременно и одинаковымъ образомъ три другія колеса; при этомъ вращеніи стержни p поднимаютъ или опускаютъ щитъ. На валъ тюрбины насажено коническое зубчатое колесо, передающее вращеніе и работу на главный валъ, расположенный горизонтально.

Способъ дѣйствія тюрбины Фурнейрона ясно виденъ изъ предъидущаго описанія; рабочая вода проведена въ такъ называемый кожухъ, въ серединѣ котораго находится цилиндрическое пространство для тюрбины; вода течетъ черезъ направляющія лопатки тюрбины; принужденная ими двигаться по кривой линіи, вдоль ихъ плоскостей, вода производитъ давленіе на лопатки; послѣднія приводятъ во вращеніе колесо и вмѣстѣ съ нимъ тарелку B и валъ D въ направленіи, указанномъ стрѣлками.

Фурнейронъ получилъ въ 1833 году за свое изобрѣтеніе премію, назначенную за подобное изобрѣтеніе много лѣтъ раньше и которую уже ранѣе стремился получить Понселе; при представленіи своей работы на конкурсъ Фурнейронъ могъ уже сослаться на выполненныя и хорошо дѣйствовавшія тюрбины, отдача которыхъ достигала до 80%. Конструкція Фурнейрона имѣла громадное значеніе на развитіе постройки тюрбинъ; одна изъ первыхъ, удачно выполненныхъ тюрбинъ Фурнейрона, сдѣлавшаяся достопримѣчательностью для спеціалистовъ вслѣдствіе небывалаго ранѣе этого напора, — это тюрбина, установленная въ Шварцвальдѣ въ St. Blasien; много спеціалистовъ въ свое время пріѣзжало въ эту удаленную лѣсную мѣстность для осмотра этой достопримѣчательности. Рабочая вода съ высоты въ 108 м. подводится въ крѣпкихъ трубопроводахъ къ небольшому вертикальному вододѣйствующему колесу діам. только въ 0,55 м. Послѣднее дѣлаетъ 2 300 оборотовъ въ минуту и развиваетъ 30—40 лошадиныхъ силъ; до изобрѣтенія этой тюрбины не были возможны какъ подобная мощность при такомъ небольшомъ вододѣйствующемъ колесѣ, такъ и пользованіе такимъ большимъ напоромъ. Тюрбиной, устроенной въ St. Blasien, былъ введенъ новый видъ тюрбинъ — **тюрбинъ высокаго давленія**; при большихъ напорахъ нельзя подводить рабочую воду къ направляющему колесу въ открытыхъ желобахъ; вмѣсто нихъ пользуются закрытыми желѣзными трубопроводами, присоединяемыми къ кожухамъ тюрбинъ; послѣдніе, въ свою очередь, устраиваются въ видѣ герметически закрытыхъ цилиндровъ; такимъ образомъ вся тюрбина помѣщается въ замкнутомъ пространствѣ, окруженная водою, находящеюся подъ давленіемъ.



809. Горизонтальный разрѣзъ тюрбины Фурнейрона по направляющему колесу и турбинному колесу.

Хотя въ послѣдующее время Фурнейронъ и установилъ успѣшно много тюрбинъ какъ высокаго, такъ и низкаго давленія, однако въ продолженіе многихъ лѣтъ еще не существовало достаточно разработанной математической ихъ теоріи. Послѣдняя была развита Понселе и притомъ такъ прекрасно, что всѣ позднѣйшія теоріи тюрбинъ имѣли въ своемъ основаніи теорію Понселе. Изъ позднѣйшихъ теоретическихъ работъ въ этой области въ особенности важны работы нѣмцевъ Редтенбахера, Вейсбаха, Вибе и Генеля.

Въ 1837 году въ Германіи была изобрѣтена механиками **Геншелемъ и сынъ** въ Касселѣ новая система тюрбинъ — **осевыя тюрбины**; въ нихъ вода протекаетъ по тюрбинѣ въ направленіи оси тюрбины, тогда какъ тюрбины Фурнейрона были тюрбинами радіальными, такъ какъ въ нихъ вода двигается по направляющимъ лопаткамъ и по тюрбинному колесу по направленію радіуса, извнутри кнаружи. Тюрбина Геншеля не расположена, какъ тюрбина Фурнейрона, въ нижней водѣ; тюрбинное колесо лежитъ подъ направляющимъ аппаратомъ, и снизу къ нему герметически придѣлана широкая труба, погруженная въ нижнюю воду. Вода сверху черезъ направляющія лопатки течетъ въ тюрбинное колесо и вытекаетъ изъ него снизу. На-

ходящійся подъ колесомъ въ герметически придѣланной къ тюрбинѣ трубѣ столбъ воды дѣйствуетъ высасывающимъ образомъ, такъ что здѣсь дѣйствуетъ полный напоръ между уровнями воды наверху и внизу. Тюрбина Геншеля имѣетъ два приспособленія для запора: гибкій затворъ, при помощи котораго часть направляющихъ лопатокъ можетъ быть прикрыта такимъ образомъ, что рабочая вода дѣйствуетъ только на часть колеса, и выпускной кранъ въ отводной трубѣ подъ тюрбиннымъ колесомъ.

Немного позже былъ выданъ французскій патентъ Жонвалю, мастеру машиностроительнаго завода Андрея Кёхлина, близъ Мюльгаузена въ Эльзасѣ, на тюрбину, названную имъ тюрбиной двойнаго дѣйствія, такъ какъ въ ней, какъ и въ тюрбинѣ Геншеля, вода дѣйствовала сверху давленіемъ, снизу высасываніемъ. Вообще эта тюрбина очень мало отличалась отъ тюрбинъ Геншеля; впослѣдствіи въ ея устройство были введены нѣкоторыя усовершенствованія, приведшія къ улучшенію этихъ тюрбинъ и способствовавшія ихъ быстрому распространенію; въ настоящее время подобныя тюрбины извѣстны подъ названіемъ тюрбинъ Геншеля-Жонваля.

Нѣкоторое время примѣненіе тюрбинъ (въ Германіи) дѣлало лишь незначительные успѣхи; на нихъ обращали вниманіе только нѣкоторые выдающіеся инженеры и машиностроительные заводы. Въ числѣ ихъ первымъ былъ гражданскій инженеръ и строитель мельницъ Л. Ц. Нагель въ Гамбургѣ, который уже въ тридцатыхъ годахъ, т. е. около того времени, когда впервые Фурнейронъ, Геншель и Жонваль выступили со своими работами, уже строилъ первыя свои тюрбины. Онъ измѣнилъ конструкцію Фурнейрона въ томъ, что вода въ его тюрбинахъ подводится не сверху, а снизу; этимъ достигнуты были нѣкоторыя преимущества въ установкѣ, въ особенности при большихъ напорахъ. Тюрбины Нагеля строились машиностроительнымъ заводомъ Нагель и Кемпъ въ Гамбургѣ.

Въ сороковыхъ годахъ Ешеромъ и Виссомъ въ Цюрихѣ былъ разработанъ новый видъ тюрбинъ, въ которыхъ была примѣнена въ нѣсколько усовершенствованномъ видѣ старая идея Понселе. Въ нихъ вода поступаетъ въ тюрбину извнѣ по касательной къ окружности, благодаря чему этотъ видъ тюрбинъ и получилъ названіе тангенціальныхъ. Фирма Ешеръ и Виссъ оказала большія услуги дѣлу развитія постройки тюрбинъ и ея многочисленныя превосходныя установки, изъ которыхъ нѣкоторыя будутъ описаны далѣе болѣе подробно, создали ей заслуженную извѣстность далеко за предѣлами ея отечества.

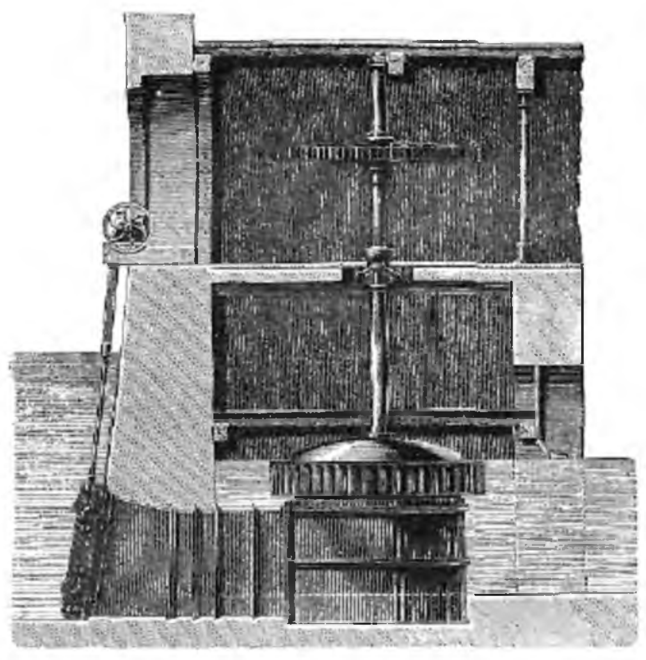
Конструктивныя детали хорошихъ тюрбинъ тщательно скрывались до сороковыхъ годовъ; ихъ знали лишь немногіе инженеры и машиностроительные заводы. Даже Понселе неудалось изъ его совершенно правильной теоріи вывести примѣнимыхъ на практикѣ правилъ постройки тюрбинъ; только благодаря работѣ уже ранѣе упомянутаго Редтенбахера, были развиты подобныя правила, такъ что послѣ этого всякій знающій инженеръ могъ уже конструировать тюрбины, причемъ успѣхъ ихъ уже заранѣе можно было считать обезпеченнымъ.

Къ числу выдающихся прежнихъ строителей тюрбинъ могутъ быть причислены нѣмецкій инженеръ-механикъ Генель, американскій инженеръ Францисъ, конструировавшій новый видъ тюрбинъ, именно радіальныя тюрбины полнаго дѣйствія *съ внѣшнимъ притокомъ воды, извѣстныя подъ* **именемъ** тюрбинъ Франциса; далѣе германецъ Шваммкругъ, первый построившій вертикальныя тюрбины. Въ 1850 году французскій гражданскій инженеръ Жираръ взялъ патентъ на различныя, выданныя имъ за новыя, тюрбины, которыя, однако, были отчасти скопированы съ тюрбинъ Геншеля-Жонваля и Шваммкруга; одна изъ такихъ тюрбинъ получила подъ именемъ тюрбины Жирара большое распространеніе.

Въ настоящее время исчезло также и въ Германіи то недовѣріе, которое существовало ранѣе къ тюрбинамъ, — послѣ того какъ многочисленными прекрасными установками была доказана его несправедливость. Положеніе дѣла постройки тюрбинъ въ Германіи въ настоящее время должно быть признано превосходящимъ таковое же всѣхъ другихъ странъ; много извѣстныхъ инженеровъ и большихъ выдающихся машиностроительныхъ заводовъ занимаются производствомъ установокъ тюрбинъ различныхъ системъ; ими изобрѣтены и введены многочисленныя улучшенія, въ особенности въ регулирующихъ приспособленіяхъ; нѣкоторыя спеціальныя конструкціи и установки будутъ описаны далѣе при описаніи отдѣльныхъ видовъ тюрбинъ.

Наиболѣе важныя системы тюрбинъ.

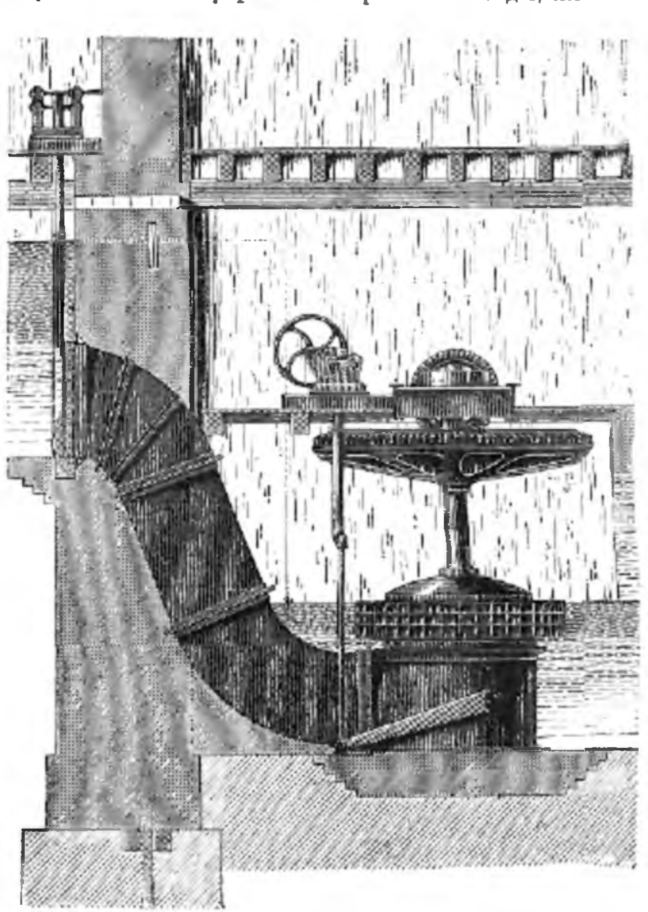
Уже при предыдущемъ изложеніи историческаго хода развитія тюрбинъ были отчасти изложены различные виды тюрбинъ и ихъ различіе. Всѣ тюрбины, сообразно способу ихъ дѣйствія, раздѣляются *на тюрбины*, дѣйствующія давленіемъ или акціонныя и на реакціонныя или лучевыя; сложныя (комбинированныя) тюрбины имѣютъ, какъ уже видно по ихъ названію, акціонное и реакціонное колеса; тюрбины, дѣйствующія давленіемъ, часто называются, хотя и не совсѣмъ справедливо, *тюрбинами Жирара. Смотря* по тому, какъ течетъ рабочая вода черезъ колесо тюрбины, по радіусу или параллельно оси, различаютъ тюрбины радіальныя и осевыя; въ первыхъ еще различаютъ, поступаетъ ли вода въ колесо изнутри наружу или въ обратномъ направленіи, т. е. лежитъ ли направляющій аппаратъ внутри или внѣ тюрбиннаго колеса и ихъ называютъ тюрбинами съ внѣшнимъ *или съ внутреннимъ притокомъ* воды. *Всѣ эти виды тюрбинъ* могутъ быть, смотря по тому, какъ притекаетъ вода, или тюрбинами полнаго дѣйствія или партіальными; въ первыхъ вода поступаетъ по всей окружности, въ послѣднихъ только въ одной ея части; радіальныя партіальныя тюрбины называются также тангенціальными тюрбинами. Иногда тюрбины подраздѣляютъ иначе, на тюрбины съ направляющими лопатками или безъ нихъ; далѣе, по положенію вала тюрбины дѣлаютъ подраздѣленіе на тюрбины съ вертикальною или горизонтальною осью; послѣднія называются, по имени перваго ихъ строителя, также тюрбинами Швамкруга.



610. Радіальная тюрбина полнаго дѣйствія системы Нагеля и Кемпа на постоянный притокъ воды и постоянную нагрузку.

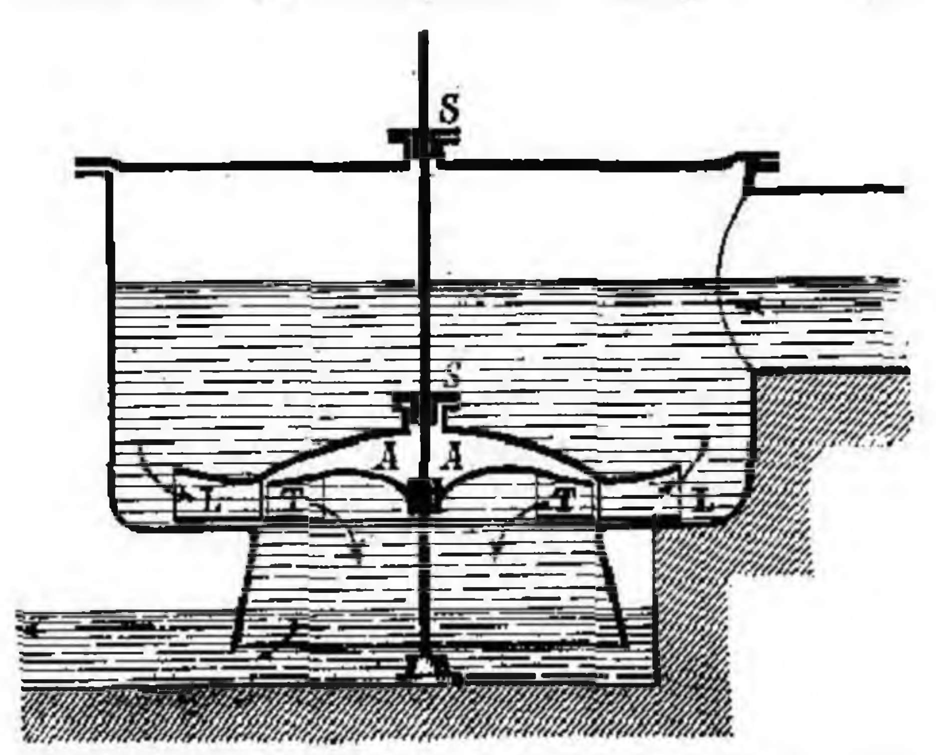
Вопросъ о томъ, какую систему тюрбинъ всего лучше примѣнить въ каждомъ данномъ случаѣ, какой способъ установки наиболѣе цѣлесообразенъ и какая конструкція предпочтительнѣе, не можетъ быть рѣшенъ вообще, но

долженъ быть опредѣляемъ опытнымъ спеціалистомъ для каждаго отдѣльнаго случая только по принятіи во вниманіе всѣхъ условій. Нѣтъ ни одной системы тюрбинъ, и не можетъ быть таковой, которая соединяла бы въ себѣ всѣ преимущества различныхъ системъ и которая была бы одинаково хорошо пригодна при любой водяной силѣ и въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, т. е. которая вообще вездѣ была бы примѣнима. Первыя тюрбины Фурнейрона, какъ для малыхъ напоровъ, такъ и тюрбины высокаго давленія были радіальными реакціонными тюрбинами съ внутреннимъ притокомъ воды, именно тюрбинами полнаго дѣйствія. Рабочая вода поступала въ тюрбинное колесо по всей окружности и выходила въ горизонтальномъ направленіи между лопатками колеса, приводя послѣднее во вращеніе своею силою реакціи. Въ большинствѣ случаевъ, однако, предпочтительнѣе устраивать притокъ воды въ направляющее колесо снизу, и это расположеніе, примѣненное впервые, какъ уже упомянуто ранѣе, Нагелемъ въ Гамбургѣ, наиболѣе употребительно. Тюрбины конструкціи Нагеля строятся подъ названіемъ „Система Нагеля и Кемпа“ машиностроительнымъ заводомъ, бывшій Нагель и Кемпъ, Акціонернаго Общества въ Гамбургѣ. Направленіемъ притока воды снизу достигается уменьшеніе нагрузки оконечности вала тюрбины; мѣсто выхода воды въ данномъ случаѣ доступно для осмотра; другія преимущества системы заключаются въ томъ, что соединенное накрѣпко съ осью колесо тюрбины легко можетъ быть поднято; при снятомъ колесѣ тюрбины легко можно осматривать и исправлять направляющее колесо и всѣ части, лежащія надъ водою нижняго уровня, какъ, напр., пяты вала и подпятника и т. п., доступъ къ которымъ, при другомъ расположеніи частей, обыкновенно бываетъ очень труденъ. Вообще радіальныя тюрбины имѣютъ передъ осевыми то преимущество, что они допускаютъ болѣе совершенное регулированіе количества протекающей воды при остающемся почти постояннымъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія, чего нельзя достигнуть (въ одинаковой степени) въ осевыхъ тюрбинахъ, хотя и это неудобство послѣднихъ въ новѣйшее время значи-



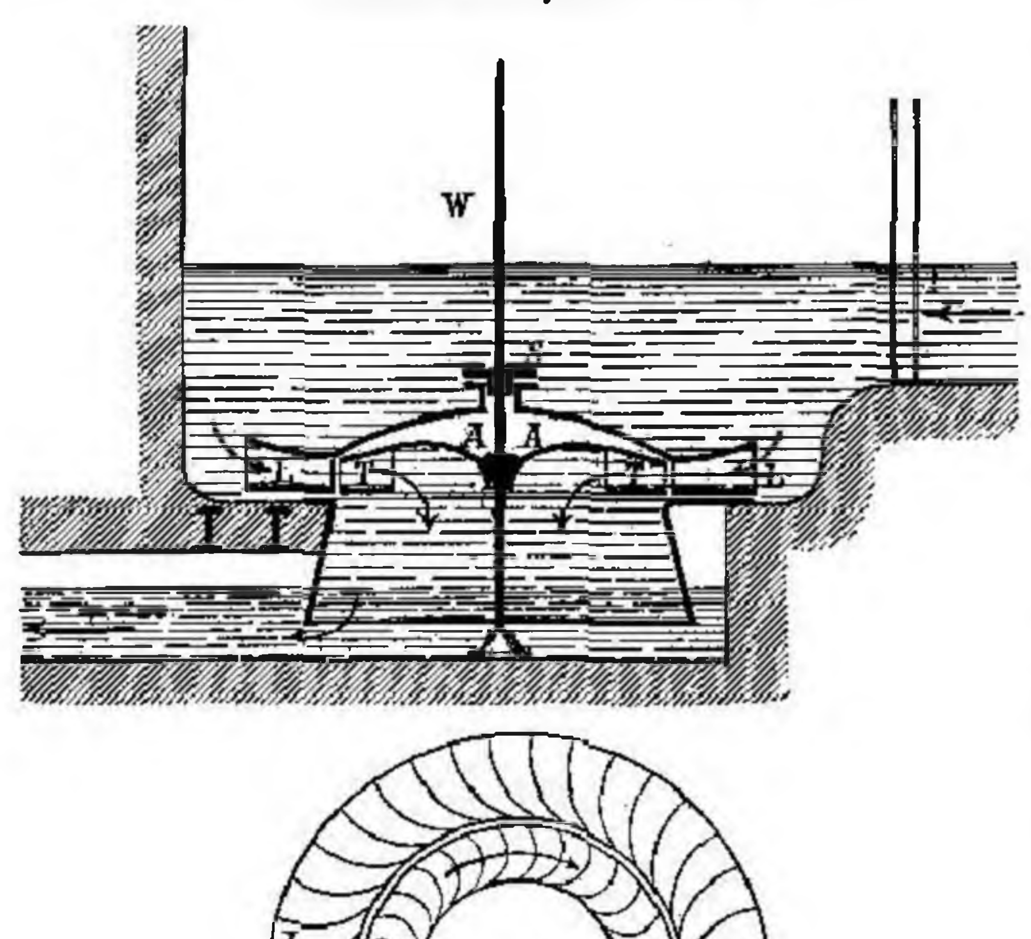
811. **Радіальная тюрбина полнаго дѣйствія, системы Нагеля и Кемпа, для сильно перемѣннаго количества воды.**

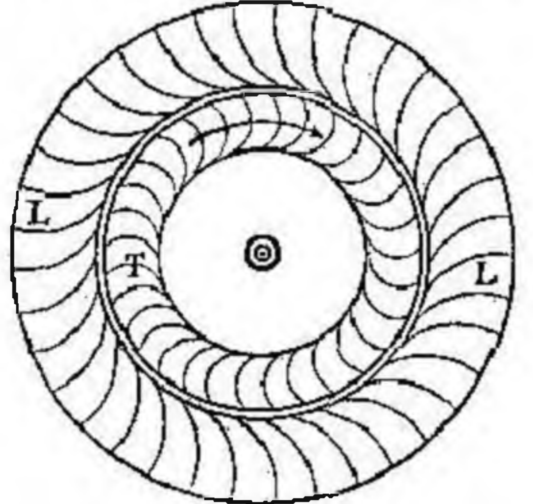
тельно уменьшено болѣе совершеннымъ расположеніемъ лопатокъ. Наоборотъ, осевыя тюрбины имѣютъ другія значительныя практическія преимущества, вслѣдствіе которыхъ онѣ все болѣе и болѣе входятъ въ употребленіе и въ настоящее время чаще примѣняются, чѣмъ радіальныя.



812. Тюрбина Франциса съ закрытымъ резервуаромъ для большихъ напоровъ.

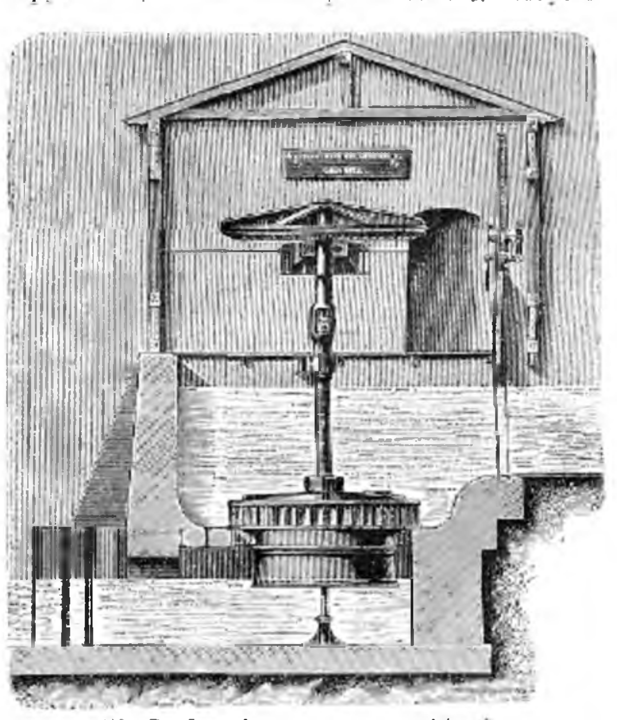
Почти во всѣхъ случаяхъ тюрбины должны устраиваться на перемѣнное количество притекающей воды, а слѣдовательно, съ *регулированіемъ* притока воды; только въ видѣ исключенія могутъ строиться тюрбины на постоянное количество воды; при пользованіи ими только самая незначительная часть имѣющагося въ распоряженіи количества воды можетъ приниматься въ разсчетъ, и при этомъ въ теченіе большей части года можно пользоваться *не всею имѣющеюся* въ распоряженіи водяною силою. Рис. 810 представляетъ радіальную тюрбину полнаго дѣйствія Нагеля и Кемпа съ притокомъ воды снизу, съ неподвижнымъ внутреннимъ направляющимъ колесомъ и внѣшнимъ тюрбиннымъ колесомъ; количество воды *регулируется внѣшнимъ* затворомъ; это расположеніе пригодно только для постоянныхъ количества воды и нагрузки. Сила, развиваемая тюрбиной, передается при помощи зубчатаго колеса, какъ изображено на рисункѣ, или коническими колесами. Тамъ, гдѣ потребленіе энергіи, *доставляемой тюрбиной*, и количество воды не равномѣрны, требуются еще дальнѣйшія приспособленія для регулированія: въ такихъ случаяхъ направляющее колесо съ





813 и 814. Тюрбина Франциса съ открытымъ резервуаромъ для небольшихъ напоровъ.
813. Вертикальный разрѣзъ. 814. Горизонтальное сѣченіе.

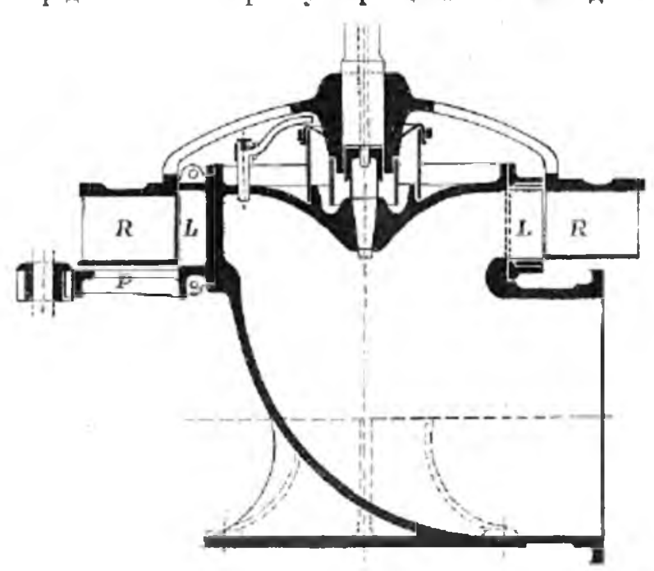
направляющими лопатками устраивается передвижнымъ въ вертикальномъ направленіи. При опусканіи его всѣ отверстія послѣдняго одинаково уменьшаются; въ колесо тюрбины втекаетъ меньшее количество воды, но постоянно по всей окружности и строго по одному и тому же направленію и подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, т. е. при наиболѣе благопріятныхъ, по теоріи, условіяхъ. Если количество рабочей воды сильно измѣняется и требуется возможно экономичное пользованіе водяною силою также и при наименьшемъ притокѣ воды, регулированіе одною только установкою направляющаго колеса является недостаточнымъ. Въ такихъ случаяхъ тюрбинное колесо снабжается продольными перегородками, раздѣляющими его на нѣсколько ярусовъ. Каждый ярусъ теоретически и практически дѣйствуетъ какъ отдѣльная тюрбина полнаго дѣйствія; такая тюрбина фирмы Нагеля и Кемпа представлена на рис. 811; подниманіе и опусканіе внутренняго тюрбиннаго колеса производится при помощи лежащаго спереди рычага и тяги, приводимой въ дѣйствіе сверху посредствомъ зубчатой передачи рукояткой. Передача, какъ изображено на рисункѣ, производится при помощи двухъ коническихъ зубчатыхъ колесъ.



815. Тюрбина Франциса полнаго дѣйствія.

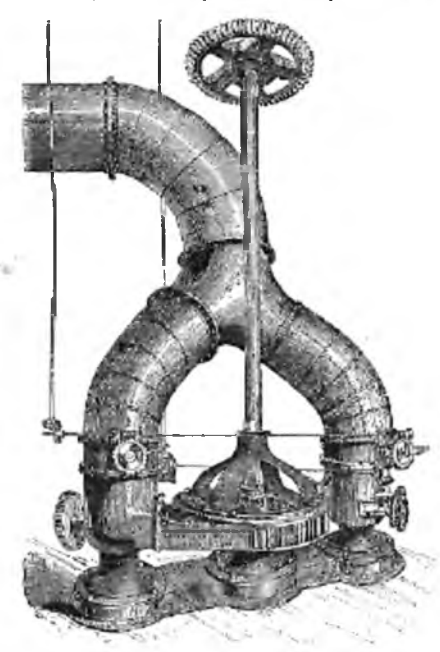
На рис. 812—814 изображена схематически радіальная тюрбина полнаго дѣйствія съ внѣшнимъ притокомъ воды системы Франциса, а именно на рис. 812 съ закрытымъ резервуаромъ для воды для большихъ напоровъ, на рис. 813 съ открытымъ резервуаромъ для малыхъ напоровъ. Рабочая вода поступаетъ въ закрытый цилиндрическій желѣзный сосудъ (рис. 812) или въ каменный резервуаръ для воды (рис. 813), въ которомъ помѣщается направляющее колесо Z; желѣзный сосудъ употребляется при большихъ напорахъ воды. Вода подводится закрытыми желѣзными трубами, и желѣзный резервуаръ для воды плотно закрытъ крышкой, сквозь которую пропущенъ черезъ сальникъ s валъ тюрбины W (рис. 812). Между каналами направляющаго колеса вода протекаетъ во внутреннее тюрбинное колесо T; послѣднее посредствомъ диска A накрѣпко соединено съ валомъ W; при проходѣ вала черезъ дискъ устроенъ сальникъ s, не пропускающій воду. Такимъ образомъ вода попадаетъ въ тюрбинное колесо только черезъ направляющіе каналы. Тюрбины Франциса всего *лучше работаютъ при постоянномъ количествѣ притекающей воды*; ихъ отдача при большихъ установкахъ достигаетъ 80%; эти тюрбины можно строить и съ регулированіемъ притока воды на количество воды, измѣняющееся въ небольшихъ предѣлахъ; для этой цѣли направляющія лопатки дѣлаютъ подвижными при помощи особаго приспособле-

нія, которымъ можно сверху устанавливать притокъ воды отъ половиннаго до полнаго; при этомъ, конечно, отдача падаетъ примѣрно до 70%. Рис. 815 представляетъ тюрбину Франциса полнаго дѣйствія большихъ размѣровъ, заключенную въ каменный резервуаръ и построенную машиностроительнымъ заводомъ фирмы I. Ц. Швальбе и сынъ въ Хемницѣ; при расходѣ воды въ 5 куб. м. въ секунду и при напорѣ въ 3 м. эта тюрбина развиваетъ 150 лошадиныхъ силъ.

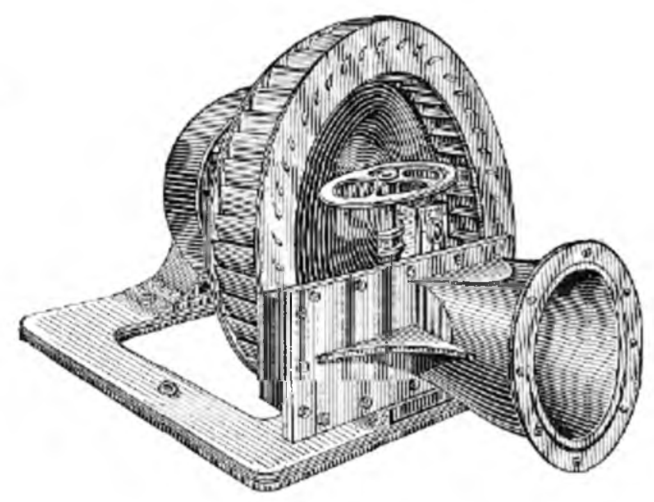


816. Радіальная партіальная тюрбина Нагеля и Кемпа (разрѣзъ).

Тюрбины полнаго дѣйствія хорошей конструкціи на большіе напоры и на относительно малое количество воды сравнительно невелики по размѣрамъ; регулированіе ихъ при перемѣнномъ притокѣ воды не совсѣмъ удобно, и скорость вращенія такихъ тюрбинъ слишкомъ велика. При такихъ условіяхъ можно рекомендовать партіальныя тюрбины, имѣющія при той же мощности большій діаметръ и дѣлающія вслѣдствіе этого меньшее число оборотовъ. Конечно, отдача ихъ не можетъ быть повышена болѣе, чѣмъ до 70%. Колеса этихъ тюрбинъ не погружены въ нижнюю воду, но движутся въ свободномъ воздухѣ; онѣ работаютъ, такимъ образомъ, съ лопатками или ковшами, только отчасти заполненными водою, и по способу своего дѣйствія принадлежатъ къ тюрбинамъ, дѣйствующимъ давленіемъ. Рабочая вода, какъ упомянуто ранѣе, поступаетъ въ тюрбинное колесо только на части ихъ окружности, въ одномъ или въ двухъ мѣстахъ, или прямо черезъ насаженные на водопроводныя трубы подходящей формы наконечники или черезъ направляющіе каналы. Партіальныя тюрбины бываютъ или съ внутреннимъ или съ внѣшнимъ притокомъ воды, съ горизонтальною или съ вертикальною осями. Рис. 816 представляетъ разрѣзъ радіальной партіальной тюрбины съ вертикальною осью и съ переставнымъ кольцомъ съ направляющими каналами, фирмы Нагеля и Кемпъ; вода подводится снизу; во вращающемся кольцѣ находятся симметрично расположенные на

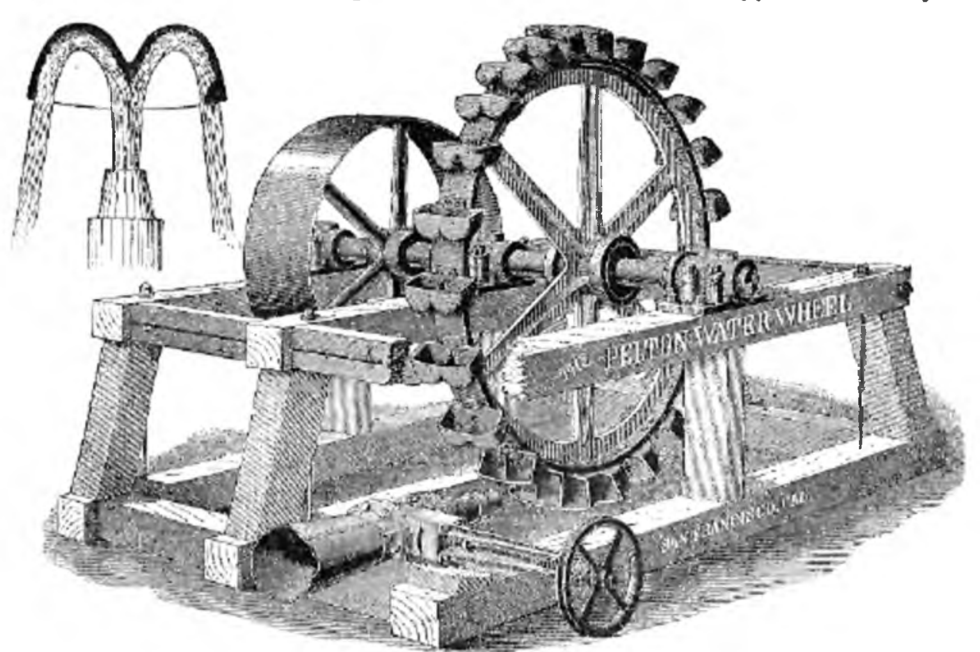

817. Тангенціальное колесо для большихъ напоровъ и на сильно перемѣнное количество воды съ двухстороннимъ впускомъ.

діаметрально противуположныхъ концахъ концентрически съ турбиннымъ валомъ направляющіе каналы; турбинное колесо R лежитъ внѣ. Направляющее колесо L снабжено съ внѣшней стороны зубчатой дугой, захватываемою по окружности вращающимся вверху зубчатымъ колесомъ Q; вращеніемъ его направляющіе каналы отчасти закрываются, чѣмъ и производится регулированіе количества рабочей воды.



818. Радіальная партіальная турбина съ горизонтальною осью.

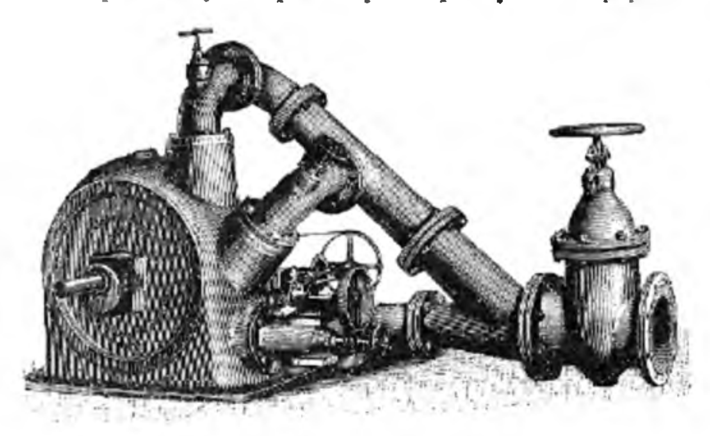
Рис. 817 представляетъ еще большее тангенціальное колесо для большихъ напоровъ и для сильно перемѣннаго количества воды, работы машиностроительнаго завода Эсслингенъ, филіальное отдѣленіе Каннштаттъ, прежде братья Деккеръ и К°; рабочая вода подводится по развѣтвленнымъ подводнымъ трубамъ къ двумъ



819 и 820. Колесо Пельтона.

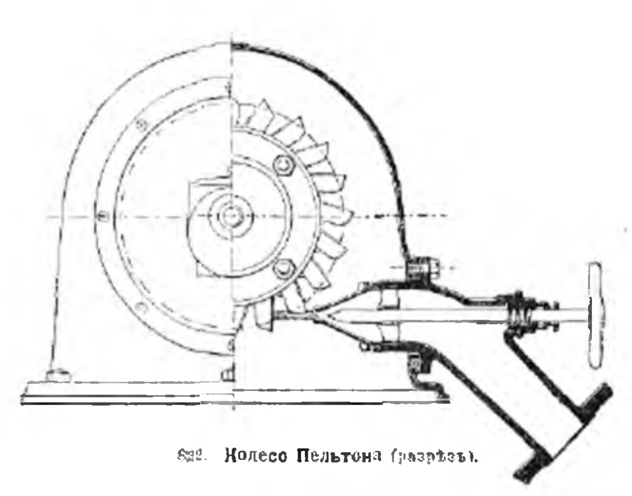
лежащимъ одинъ противъ другаго направляющимъ аппаратамъ; для самыхъ малыхъ количествъ рабочей воды эти колеса дѣлаются только съ однимъ впускомъ; регулированіе количества притекающей воды производится при помощи затворовъ, запирающихъ отдѣльные направляющіе каналы.

Для небольшихъ силъ при маломъ количествѣ воды и при большомъ ея напорѣ рекомендуются партіальныя тюрбины съ горизонтальною осью, называемыя по имени ихъ изобрѣтателя **тюрбинами Швамкруга**. Онѣ расчитаны на количество воды отъ 50 до 500 л. въ секунду при напорѣ въ 10—150 м.; работаютъ они съ отдачей въ 70—75%. Рис. 818 представляетъ радіальную партіальную тюрбину съ внутреннимъ притокомъ воды и съ горизонтальнымъ валомъ, работы тюрбиннаго завода **Х. Квева** въ **Эрфуртѣ**; при помощи регулировочныхъ приспособленій съ плоскими затворами возможно регулировать притокъ воды. Непосредственная передача работы съ вала производится очень просто и удобно при помощи ремня или канатовъ на трансмиссію или прямо на быстро идущія рабочія машины безъ примѣненія коническихъ зубчатыхъ колесъ.



821. **Колесо Пельтона съ тремя впускными отверстіями для воды.**
Германское водопроводное Общество Х. Бреуеръ и К° въ Гохстѣ на М.

Новый родъ тюрбинъ, обратившій на себя съ нѣкотораго времени всеобщее вниманіе, — это **колесо Пельтона**. Оно изобрѣтено въ Сѣверной Америкѣ, гдѣ оно вошло въ употребленіе около 1884 года и гдѣ получило съ тѣхъ поръ широкое распространеніе. До начала девятидесятыхъ годовъ оно, оставалось однако, въ Германіи малоизвѣстнымъ и на него мало обращали вниманія до тѣхъ поръ, пока профессоръ Рело впервые не сдѣлалъ болѣе подробнаго о немъ сообщенія въ нѣмецкихъ спеціальныхъ техническихъ обществахъ. Колесо Пельтона представляетъ акціонную тюрбину высокаго давленія съ горизонтальною осью и съ партіальнымъ внѣшнимъ притокомъ воды безъ направляющаго аппарата; колесо работаетъ только живою силою струи воды, вытекающей на лопатки изъ коническаго наконечника, см. рис. 819 и 820. Колесо насажено на горизонтальный валъ и по окружности снабжено ковшеобразными лопатками; рабочая вода подводится желѣзными трубами, при большихъ напорахъ въ клепаныхъ трубахъ изъ кованнаго желѣза или стали, для защиты отъ ржавчины хорошо асфальтированными, какъ извнѣ, такъ и внутри, какъ это съ давнихъ поръ постоянно употреблялось въ Америкѣ для водопроводныхъ трубъ высокаго давленія



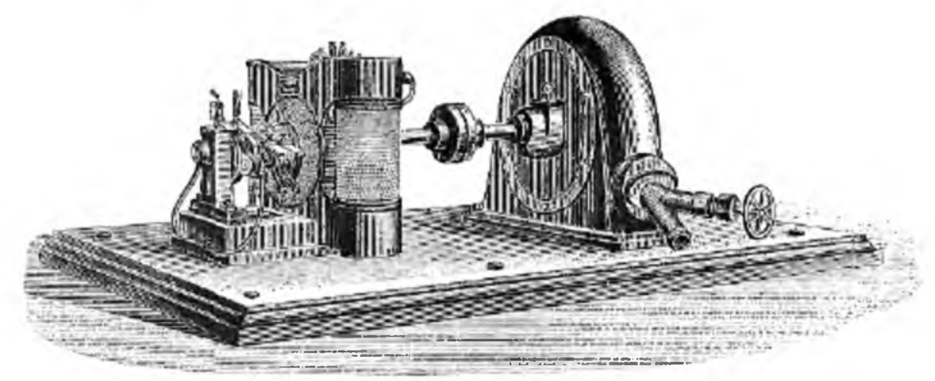
822. **Колесо Пельтона (разрѣзъ).**

Регулированіе количества притекающей воды и вмѣстѣ съ тѣмъ хода колеса производится запорнымъ краномъ, помѣщеннымъ въ водопроводной трубѣ передъ коническимъ наконечникомъ, какъ показано на рис. 820 и 821, или при помощи особаго регулятора (рис. 822 и 823). Лопасти дѣлаются изъ твердой бронзы и съ внутренней стороны тщательно полированными; дѣйствіе удара почти совсѣмъ избѣгнуто приданіемъ соотвѣтственной кривизны средней и боковымъ стѣнкамъ ихъ и полировкой острыхъ ихъ краевъ, по которымъ при вращеніи колеса скользитъ струя воды; вода подъ давленіемъ скользитъ равномѣрно по закругленнымъ стѣнкамъ, гдѣ она имъ и отдаетъ свою живую силу. Отдача колеса Пельтона чрезвычайно велика, 80%, 85%, при благопріятныхъ условіяхъ и еще выше. Колесо это пригодно въ особенности при большихъ напорахъ, начиная, по крайней мѣрѣ, съ 10 м.; чѣмъ больше напоръ, *ѣмъ благопріятнѣе условія для примѣненія колеса Пельтона и тѣмъ* выше его отдача. Высшіе предѣлы давленій (напора) опредѣляются только прочностью водопроводовъ и допустимою скоростью вращенія, безопасною для колеса. До сихъ поръ еще не достигли высшихъ предѣловъ; въ Америкѣ уже нѣсколько лѣтъ существуетъ установка шести колесъ Пельтона въ *Chollar* — шахтахъ *на рудникѣ Comstock съ* напоромъ въ 512 м., т. е. съ давленіемъ воды свыше 50 атмосферъ, причемъ отдача колесъ достигаетъ 88%. Колеса этой установки послѣ многолѣтияго дѣйствія сохранились еще хорошо. Для еще большаго напора, именно въ 642 м., компаніей колесъ Пельтона (Pelton-Water-Wheel-Company, въ Санъ-Франциско, Калифорнія) установлено съ 1892 года колесо для рудника; давленіе столба воды (напоръ) у наконечника трубы при закрытомъ кранѣ достигаетъ 64 атмосферъ! Колесо дѣлаетъ 1150 оборотовъ въ минуту или 17 въ секунду; оно діаметромъ въ 36″ или 914 мм., такъ что по окружности оно имѣетъ чрезвычайно большую скорость въ 55 м. въ секунду. Такъ какъ при такой скорости вращенія развивается большая центробѣжная сила, то для избѣжанія разрыва колесо сдѣлано изъ цѣльнаго стального диска, къ которому и приклепаны лопатки или ковши. Тотъ напоръ, которымъ здѣсь пользуются, наибольшій изъ вообще употреблявшихся до настоящаго времени при вододѣйствующихъ колесахъ.

Область примѣненія колесъ Пельтона значительно шире, чѣмъ тюрбинъ всѣхъ другихъ системъ; ихъ можно примѣнять при самыхъ малыхъ количествахъ воды и для полученія малыхъ силъ, какъ, напр., въ 1/30 лошадиной силы для приведенія въ дѣйствіе швейныхъ и тому подобныхъ машинъ; *ихъ же, при соотвѣтствующей величинѣ напора, можно устраивать въ видѣ* одного колеса мощностью въ 2000 лошадиныхъ силъ. Главное ихъ преимущество сравнительно съ другими тюрбинами заключается въ малыхъ размѣрахъ колеса при большой его мощности, съ чѣмъ связана большая скорость вращенія; колесо на 2000 лошадиныхъ силъ имѣетъ, напр., при напорѣ въ 300 м. діаметръ только въ 1,80 м. и вѣситъ только около *1000—1400* кгр.; рис. 819 представляетъ шестифутовое колесо. Примѣненіемъ бо́льшаго числа струй воды на одно и то же колесо можно достигнуть двойной, тройной и бо́льшей мощности. Рис. 821 представляетъ такое колесо, заключенное въ желѣзный кожухъ, съ тремя впускными соплами, регулируемыми одновременно главнымъ запорнымъ краномъ и каждое въ отдѣльности особымъ регуляторомъ. Разительное сравненіе между колесомъ Пельтона и вертикальнымъ заднебойнымъ вододѣйствующимъ колесомъ даетъ рис. 797, представляющій большое вододѣйствующее колесо въ Saxey-glen-mines на островѣ Мэнѣ и колесо Пельтона, помѣщенное наверху въ правомъ углѣ. Оба изображенія приблизительно въ одномъ и томъ же масштабѣ и оба колеса приблизительно на одинаковую мощность въ 150 лошадиныхъ силъ; легко можно было бы думать, что этотъ карликъ-колесо Пельтона не въ состояніи совер-

шить ту же работу, что и великанъ — наднебойное колесо, въ особенности если имѣть въ виду, что если бы мы захотѣли послѣднее колесо замѣнить колесомъ Пельтона, то намъ пришлось бы еще включить тяжелую зубчатую передачу для уменьшенія скорости. Здѣсь ясно выступаетъ основное положеніе въ техникѣ, въ новѣйшее время все болѣе и болѣе выдвигающееся и которому большинство у насъ еще не слѣдуетъ, какъ въ Америкѣ, это то, что большія скорости имѣютъ въ экономическомъ отношеніи громадное значеніе.

Въ сѣверной Америкѣ, въ мѣстностяхъ, богатыхъ водой, колеса Пельтона введены въ большомъ количествѣ и примѣняются съ большимъ успѣхомъ въ особенности въ рудникахъ и на заводахъ. Въ большихъ размѣрахъ впервые они были примѣнены въ рудникахъ Идаго въ Невадѣ, благодаря плодотворному соревнованію. Въ 1892 году тамъ было въ полномъ ходу 18 колесъ различной величины для доставленія рудъ, для приведенія въ дѣйствіе толчей для измельченія рудъ, воздушныхъ компрессоровъ, насосовъ и

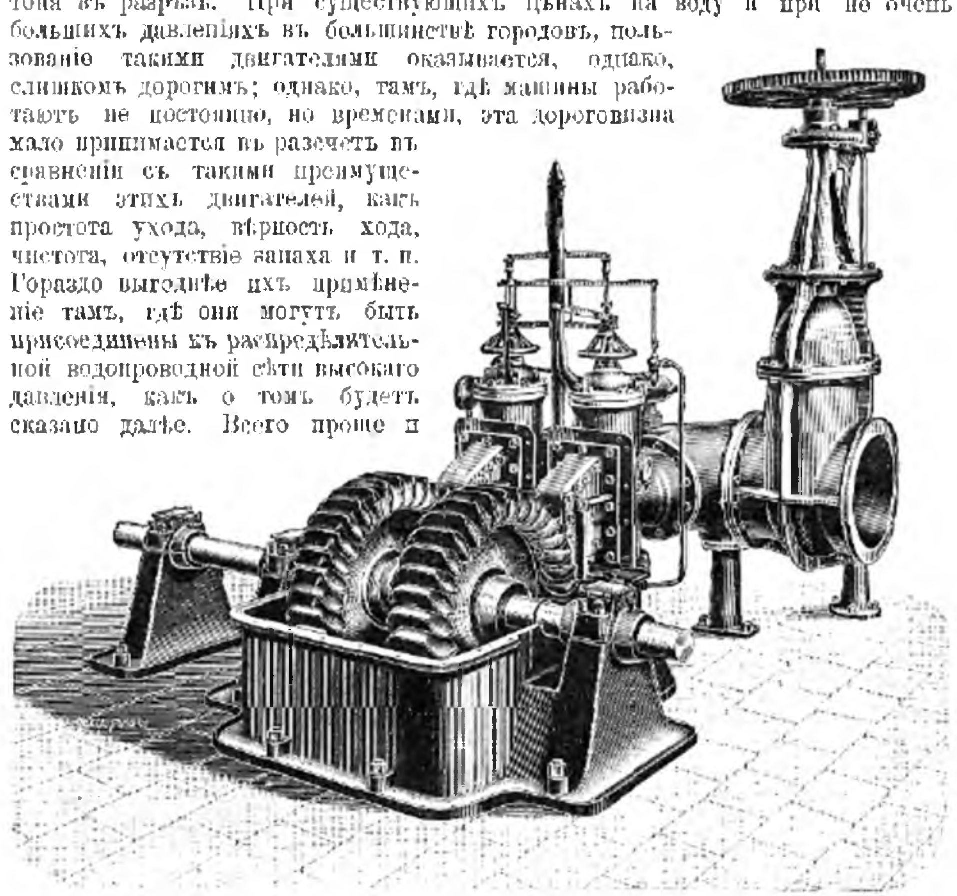


823. Колесо Пельтона, непосредственно соединенное съ динамомашиной.
Германское водопроводное Общество Х. Бреуеръ и К° въ Гохстѣ на М.

т. п. Напоръ, которымъ пользовались, достигалъ тамъ 384′ (117 м.) и колеса работали, какъ говорятъ, съ чрезвычайно большой отдачей въ 87%. На „Treadwell“ заводѣ въ Аляскѣ семифутовое колесо Пельтона при расходѣ воды 300 литровъ въ секунду и при напорѣ 150 м. развиваетъ около 500 лошадиныхъ силъ для обслуживанія силой большей части завода; простой замѣной наконечника водопроводной трубы на большій то же самое колесо можетъ развивать въ періодъ времени съ большимъ притокомъ воды до 735 лошадиныхъ силъ. Колесо вѣситъ только около 360 клгр.; для такой мощности это, конечно, неслыханно малый вѣсъ. Кромѣ того въ этой установкѣ, дѣйствующей, главнымъ образомъ, водой, установлено еще много другихъ колесъ Пельтона, приводящихъ въ дѣйствіе воздушные прессы, насосы, машины для доставленія руды, точно также динамомашины, служащія для электрическаго освѣщенія всего завода. Интересно устройство для пользованія водяной силой при помощи колесъ Пельтона для передачи силы на разстояніе трехфазнымъ токомъ въ Редландѣ, въ Калифорніи; это первая въ Америкѣ большая установка электрической передачи силы при помощи трехфазнаго тока. Два колеса Пельтона расходуютъ около 68 куб. м. воды въ минуту при напорѣ въ 108 м. и развиваютъ каждая 400 лошадиныхъ силъ; съ колесами непосредственно соединены динамомашины. Электрическій токъ напряженіемъ въ 2500 вольтъ распредѣляется двумя линіями длиною въ 12 и 7½ км. въ города Редландъ и Ментоне. Подобная же установка существуетъ въ *Санъ-Антоніо въ Калифорніи*; *двигатель Пельтона діаметромъ*

только въ 80 см. работаетъ при напорѣ въ 132 м. и развиваетъ около 250 лошадиныхъ силъ, передаваемыхъ непосредственно альтернатору; для передачи силы на разстояніе въ 15 км. примѣнено напряженіе въ 10,000 вольтъ.

Колеса Пельтона подъ именемъ двигателей Пельтона находятъ разнообразныя примѣненія, какъ малые двигатели на малыя силы при питаніи ихъ отъ городскихъ водопроводныхъ сѣтей для приведенія въ движеніе малыхъ рабочихъ машинъ; рис. 822 представляетъ подобный двигатель Пельтона въ разрѣзѣ. При существующихъ цѣнахъ на воду и при не очень большихъ давленіяхъ въ большинствѣ городовъ, пользованіе такими двигателями оказывается, однако, слишкомъ дорогимъ; однако, тамъ, гдѣ машины работаютъ не постоянно, но временами, эта дороговизна мало принимается въ разсчетъ въ сравненіи съ такими преимуществами этихъ двигателей, какъ простота ухода, вѣрность хода, чистота, отсутствіе запаха и т. п. Гораздо выгоднѣе ихъ примѣненіе тамъ, гдѣ они могутъ быть присоединены къ распредѣлительной водопроводной сѣти высокаго давленія, какъ о томъ будетъ сказано далѣе. Всего проще и

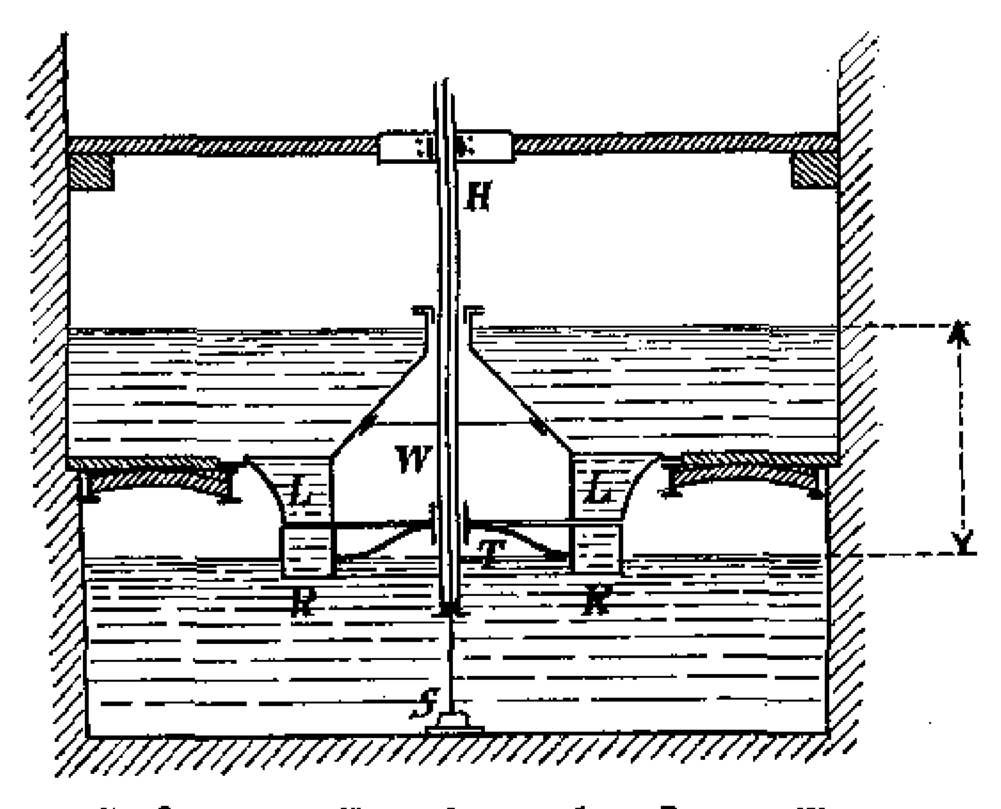


824. **Двойная тюрбина высокаго давленія съ горизонтальнымъ валомъ и съ ковшеобразными лопастями.** Эшеръ, Виссъ и К⁰ въ Цюрихѣ.

выгоднѣе примѣненіе колесъ Пельтона въ соединеніи съ быстро идущими машинами, напр., динамомашинами, вентиляторами, круглыми пилами, центробѣжными насосами при непосредственномъ ихъ соединеніи съ колесомъ, такъ какъ при этомъ исключаются всѣ потери на ременную или зубчатую передачи. Рис. 823 представляетъ динамомашину, непосредственно соединенную съ колесомъ Пельтона и монтированную на одномъ общемъ съ нимъ основаніи.

Съ нѣкотораго времени колеса Пельтона выдѣлываются и въ Германіи, и право на ихъ производство для всей Германіи и большей части европейскихъ государствъ перешло къ тюрбиностроительному заводу Бриглебъ, Гансенъ и К⁰ въГотѣ; малые же двигатели Пельтона производятся и продаются фирмой Бреуера и К⁰, преемникомъ нѣмецкаго водопроводнаго Общества въ Гохстѣ на М.

Горизонтальныя тюрбины высокаго давленія фирмы Эшеръ, Виссъ и К^0 въ Цюрихѣ подобны колесамъ Пельтона, какъ это видно изъ рисунка 824. Способъ ихъ дѣйствія ясенъ изъ чертежа. Онѣ строятся съ однимъ колесомъ съ ковшами или, какъ двойныя тюрбины, съ двумя колесами и спеціально на большіе напоры и работаютъ съ отдачей свыше 80%; чѣмъ больше напоръ, тѣмъ больше число оборотовъ, достигающее, напр., для малыхъ двигателей при напорѣ въ 200 м. до 1000—4000 въ минуту. Онѣ строятся какъ для полученія самыхъ малыхъ силъ, напр., при присоединеніи къ водопроводнымъ сѣтямъ, такъ и для большихъ, отъ $^1/_2$ до 300 лошадиныхъ силъ. Двѣ подобныя тюрбины были построены для Готтардской дороги и расчитаны на напоръ въ 550 м. Тюрбины высокаго давленія съ колесами и ковшами могутъ быть непосредственно соединяемы съ быстро идущими механизмами; для другихъ цѣлей работа ихъ можетъ быть передаваема обычнымъ способомъ посредствомъ ременной передачи.

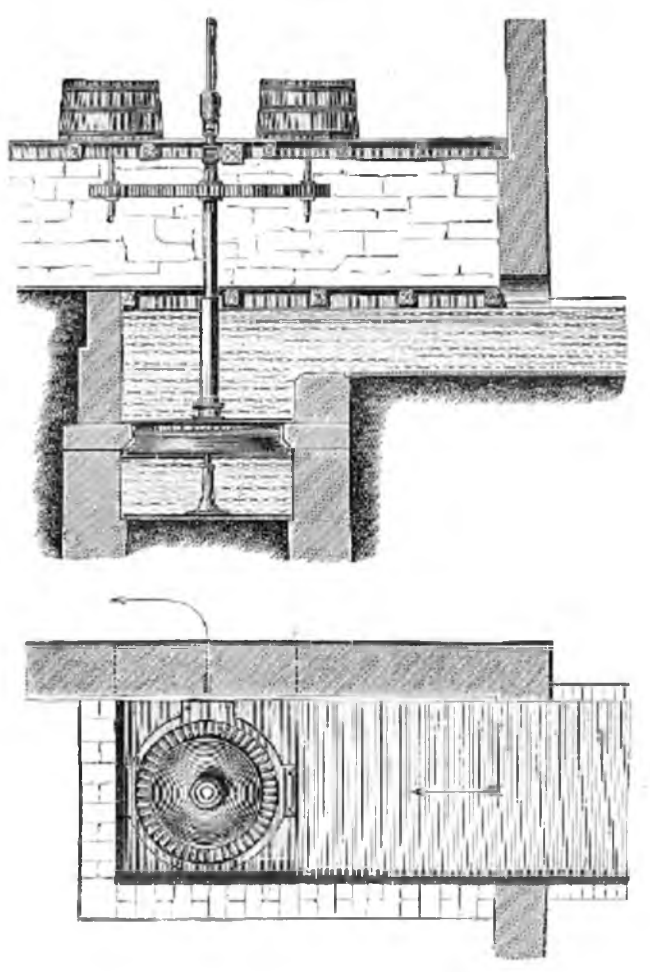


825. Схематическій разрѣзъ тюрбины Геншеля-Жонваля.

Установка центральной электрической станціи въ Давосѣ (Швейцарія) обслуживается тремя горизонтальными тюрбинами высокаго давленія работы Эшеръ, Виссъ и К^0. Рабочую силу для этой установки доставляетъ Сертигбахъ при напорѣ въ 100 м. и съ наименьшимъ количествомъ воды въ 250 литровъ въ секунду. Такъ какъ установка служитъ только для электрическаго освѣщенія и поэтому находится въ дѣйствіи только по вечерамъ, то неиспользованная за день вода собирается въ запрудѣ съ тѣмъ, чтобы, въ особенности при низкомъ уровнѣ воды весной, установка могла работать съ полною требуемою нагрузкою въ 430 лошадиныхъ силъ въ теченіе немногихъ рабочихъ часовъ. Рабочая вода подводится къ тюрбинамъ при помощи трубопроводовъ длиною въ 2000 м. и діаметромъ въ 700 мм. Особенно тщательно устроено регулированіе; это необходимо вслѣдствіе большой длины водопроводныхъ трубъ, такъ какъ при несовершенныхъ приспособленіяхъ для запора легко могли бы получаться сильные гидравлическіе удары вслѣдствіе большой длины находящагося въ движеніи столба воды. Очень чувствительный и сильный регуляторъ дѣйствуетъ на гидравлическій приборъ для регулированія, системы Эшеръ, Виссъ и К^0, и при посредствѣ его на направляющій приборъ тюрбины; его дѣйствію способствуетъ помѣщенное на валу тюрбины *маховое колесо и находящаяся на пути главной водопроводной трубы воздушная* камера въ 12 м. высотою и въ 1,2 м. діаметромъ, наполненная до $^3/_4$ своей высоты воздухомъ. Первое уравниваетъ небольшія колебанія въ числѣ оборотовъ, послѣдняя — измѣненія давленія въ трубахъ. Разница въ числѣ оборотовъ при холостомъ ходѣ и при полной нагрузкѣ не превышаетъ 3—4%. Задача точной гидравлической регулировки при большихъ напорахъ и при длинныхъ трубахъ была вполнѣ разрѣшена на данной установкѣ фирмой Эшеръ, Виссъ и К^0, несмотря на высказывавшіяся въ началѣ спеціалистами сомнѣнія.

Тюрбины Геншеля-Жонваля, въ особенности въ усовершенствованномъ Жонвалемъ видѣ, уже давно нашли обширное примѣненіе и все болѣе и болѣе вытѣсняютъ старыя радіальныя тюрбины. По способу своего дѣйствія они принадлежатъ къ реакціоннымъ тюрбинамъ; тюрбинное колесо у нихъ или погружено въ нижнюю воду, или же находится въ герметически

закрытой коробкѣ съ отводной трубой, опускающеюся въ нижнюю воду. Прежнія тюрбины Гепшеля-Жонваля, въ особенности въ конструкціи Жонваля, мало измѣнены въ общемъ расположеніи частей, но отдѣльныя части ихъ, и въ особенности приспособленія для регулированія, значительно усовершенствованы. Послѣднія, какъ упомянуто ранѣе, имѣютъ существенное значеніе, такъ какъ тюрбины безъ регулированія, при меньшемъ количествѣ воды, чѣмъ то, на которое они расчитаны, работаютъ съ значительно меньшимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія.

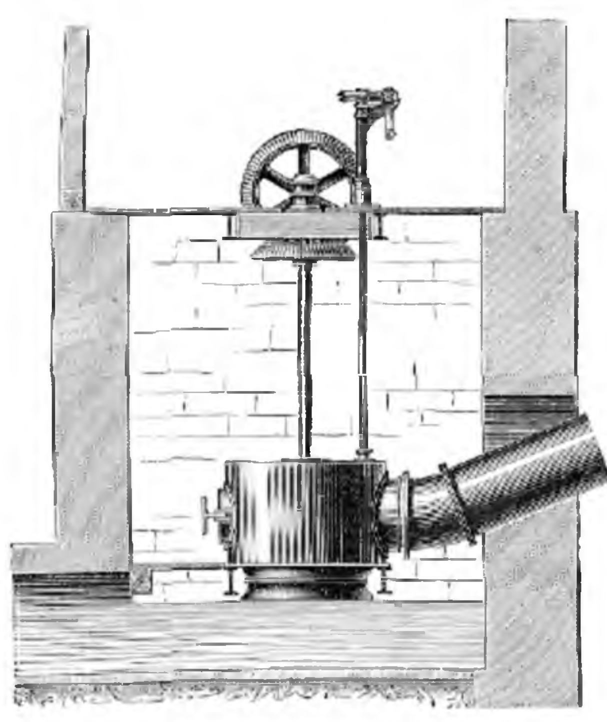


826. Тюрбина Кнопа съ открытымъ резервуаромъ на малые напоры. Бриглебъ, Гансенъ и К° въ Готѣ.

Простое регулированіе притока воды посредствомъ впускныхъ запоровъ примѣняется только при постоянномъ избыткѣ рабочей воды, причемъ въ колесо протекаетъ только опредѣленное количество воды, остальною же водою не пользуются и ее спускаютъ; такимъ способомъ пользуются только частью водяной силы. Регулированіе при помощи спускныхъ запоровъ или выпускныхъ клапановъ, а также при помощи запоровъ въ выпускной (сосущей) трубѣ нецѣлесообразно, такъ какъ при этомъ скорость протеканія воды черезъ колесо тюрбины уменьшается, послѣдствіемъ чего является значительное пониженіе коэффиціента полезнаго дѣйствія. Кромѣ того выпускные клапаны или запоры въ тюрбинахъ съ нижней трубой примѣняются съ другою цѣлью; именно, при пусканіи въ ходъ послѣднихъ необходимо для дѣйствія нижней трубы сперва наполнить ее водою, для чего и запирается запорный кранъ. Другой способъ регулированія заключается въ закрываніи части направляющихъ каналовъ; строго говоря, по теоріи это недопустимо, такъ какъ этимъ тюрбина превращается въ партіальную тюрбину вслѣдствіе того, что впускъ воды производится только по части окружности колеса, между тѣмъ какъ тюрбины этого вида теоретически правильно расчитаны, только какъ тюрбины полнаго дѣйствія. Тѣмъ не менѣе этотъ способъ регулированія на практикѣ лучше предъидущихъ, такъ какъ при немъ вода вытекаетъ съ полною скоростью изъ остающихся открытыми направляющихъ каналовъ; коэффиціентъ же полезнаго дѣйствія въ данномъ случаѣ уменьшается незначительно. Наоборотъ, вредно закрывать отчасти отдѣльные каналы, такъ какъ при этомъ вода входитъ въ тюрбинное колесо совсѣмъ другимъ образомъ, чѣмъ при вполнѣ открытыхъ; слѣдуетъ совершенно закрывать извѣстное число смежныхъ каналовъ. Совершенное регулированіе заключалось бы въ томъ, чтобы всѣ направляющіе каналы и каналы въ тюрбинномъ колесѣ съуживались равномѣрно,

сохраняя свою форму. На практикѣ это трудно выполнимо и ведетъ къ усложненiямъ въ устройствѣ тюрбинъ. Наконецъ еще возможно регулированiе въ извѣстныхъ предѣлахъ примѣненiемъ нѣсколькихъ тюрбинныхъ колесъ (вѣнцовъ); такимъ образомъ получаются тюрбины съ двумя и большимъ числомъ вѣнцовъ тюрбинныхъ колесъ; тюрбины эти далѣе будутъ приведены въ видѣ примѣровъ.

Какъ уже было указано ранѣе относительно другихъ тюрбинъ (см. тюрбины Франциса), тюрбины Геншеля-Жонваля или тюрбины Жонваля строятся, смотря по тому, на какой напоръ они разсчитаны, какъ тюрбины съ открытымъ или закрытымъ резервуарами для воды; послѣднiя примѣняются при большихъ напорахъ. Рис. 825 представляетъ схематически въ вертикальномъ разрѣзѣ расположенiе частей тюрбины Геншеля-Жонваля безъ нижней трубы; здѣсь изображена тюрбина съ открытымъ резервуаромъ, расчитанная на незначительный напоръ, но по способу своего дѣйствiя пригодная вообще въ видѣ закрытой тюрбины и для большихъ напоровъ. *L* неподвижное направляющее колесо; *R* непосредственно подъ нимъ лежащее тюрбинное колесо, погруженное въ нижнюю воду; оно соединено съ валомъ *W* при помощи крестовинъ или диска *T*. Валъ внизу ходитъ въ подпятникѣ *S*, а вверху въ муфтѣ *H*. На изображенной тюрбинѣ нѣтъ никакого приспособленiя для регулированiя; она, слѣдовательно, примѣнима только при постоянномъ количествѣ воды и при мало измѣняющейся нагрузкѣ. Рис. 826 и 827 показываютъ расположенiе частей осевой тюрбины работы извѣстнаго тюрбиностроительнаго завода Бриглебъ, Ганзенъ и К⁰ въ Готѣ, строющаго, главнымъ образомъ, улучшенныя тюрбины Геншеля-Жонваля, подъ именемъ тюрбинъ Кнопа (по имени ихъ конструктора, инженера Кнопа, извѣстнаго строителя тюрбинъ). На рис. 826 представлена тюрбина съ открытымъ резервуаромъ на небольшiе или среднiе напоры; передачей при посредствѣ зубчатаго колеса здѣсь приводятся въ движенiе два мельничныхъ постава. Рис. 827 показываетъ примѣненiе закрытаго резервуара при большихъ напорахъ; рабочая вода подводится желѣзными трубопроводами.

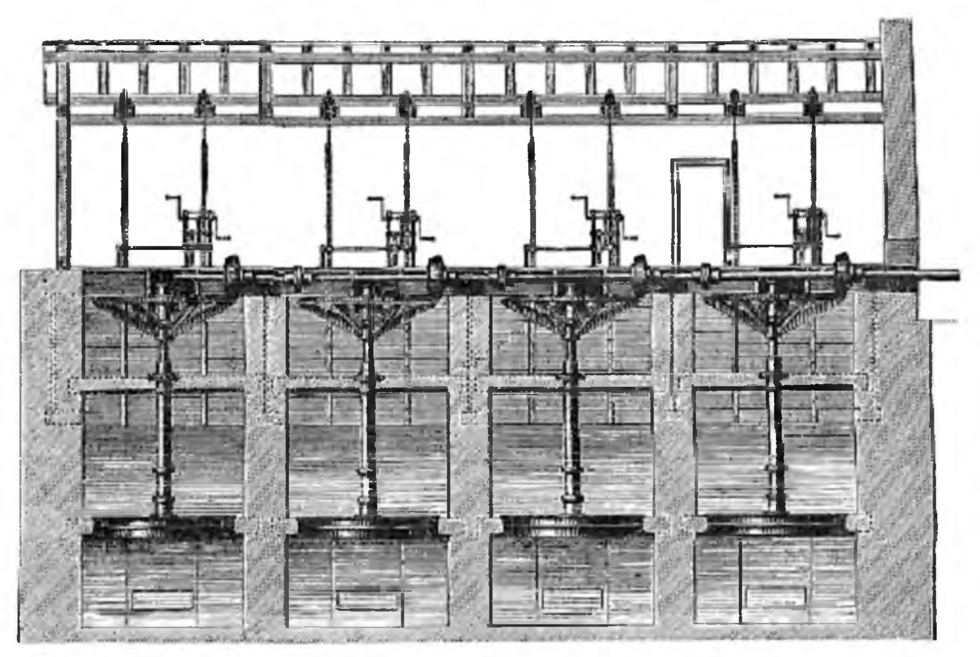


827. Тюрбина Кнопа съ закрытымъ резервуаромъ на большiе напоры.

Для регулированiя тюрбинъ этого рода при незначительныхъ измѣненiяхъ въ притокѣ воды и въ нагрузкѣ примѣняется обыкновенно способъ закрыванiя нѣкотораго числа направляющихъ каналовъ щитами; при колебанiяхъ, превышающихъ 50%, употребляется регулирующiй запоръ Кнопа, посредствомъ котораго совершенно закрывается одна половина направляющаго колеса въ соединенiи съ закрывающими щитами для отдѣльныхъ каналовъ другой половины. Въ тѣхъ случаяхъ, когда надо принять въ соображенiе значительныя сезонныя ко-

лебанія въ количествѣ рабочей воды или нагрузки, которыя не могутъ быть регулируемы во время хода указаннымъ выше способомъ, примѣняется остроумное и простое приспособленіе для регулированія, вѣерообразный запоръ Генкеля, при помощи котораго можно закрыть отчасти и даже вполнѣ отверстія направляющаго колеса во время самаго хода тюрбины, дѣйствуя извнѣ или даже изъ любого мѣста тюрбиннаго зданія, пользуясь передачей.

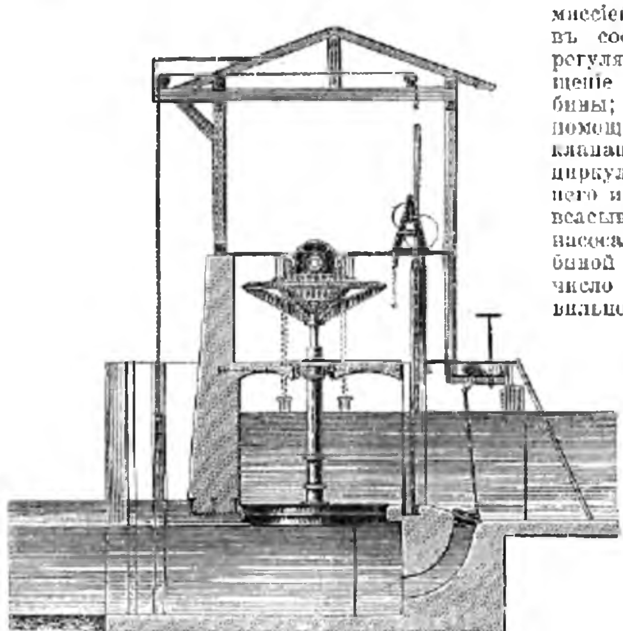
Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда требуется весьма равномѣрный ходъ, а также при постоянныхъ и мгновенныхъ случайныхъ измѣненіяхъ нагрузки, напр., при приведеніи въ дѣйствіе динамомашинъ, прядильныхъ станковъ, ткацкихъ станковъ и т. п., недостаточно бываетъ регулированія въ ручную вышеуказаннымъ способомъ, но требуется примѣненіе самодѣйствующаго регулятора скорости. Опытъ показалъ, что приспособленія, въ которыхъ регуляторъ скорости дѣйствуетъ непосредственно или при помощи передачъ на регулированіе притока воды, подобно тому, какъ у паровыхъ машинъ на впускъ пара, въ большинствѣ случаевъ



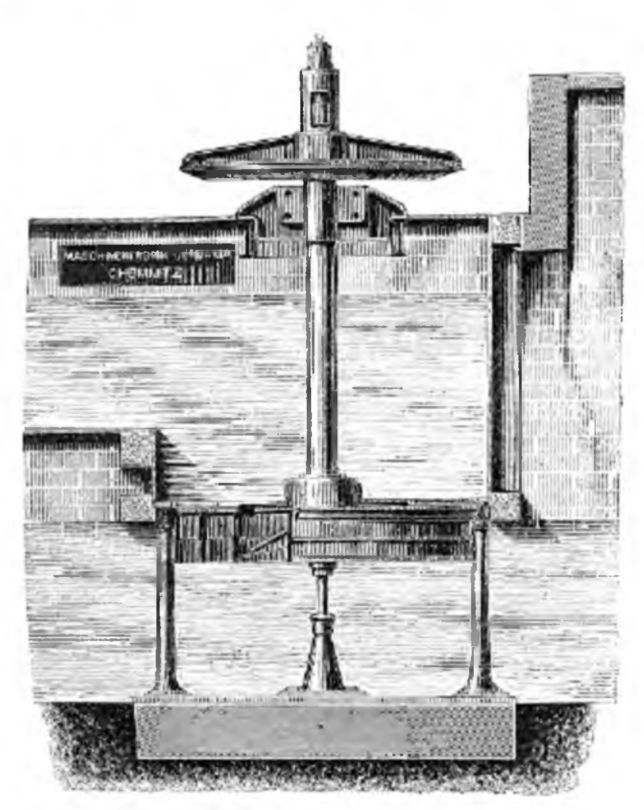
828. Продольный разрѣзъ тюрбинной установки городской электрической станціи въ Касселѣ.

не вполнѣ достаточны, такъ какъ ихъ дѣйствіе неточно и недостаточно быстро; если, напр., будетъ выключена вдругъ рабочая машина, потреблявшая много энергіи, или цѣлое отдѣленіе завода, тогда тюрбина значительно увеличитъ скорость, прежде чѣмъ затворы будутъ установлены регуляторомъ; за этотъ промежутокъ времени, вслѣдствіе увеличенія скорости могутъ сильно попортиться рабочіе механизмы, въ особенности, напр., динамомашины или прядильныя веретена. Вслѣдствіе этого во многихъ случаяхъ такія приспособленія вообще неприменимы. Было бы, конечно, всего лучше не только тюрбины, но и всѣ двигатели заставлять работать при нѣкоторой средней, но постоянной нагрузкѣ и именно при той, при которой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія ихъ выше, а излишекъ силы запасать въ какихъ-либо аккумуляторахъ (напр., электрическихъ или гидравлическихъ аккумуляторахъ или въ резервуарахъ съ сжатымъ воздухомъ) съ тѣмъ, чтобы впослѣдствіи, при слишкомъ большой нагрузкѣ, пополнять работу двигателя этимъ запасомъ. Вслѣдствіе большихъ затратъ на установку и на затруднительность такихъ сооруженій они возможны только въ исключительныхъ случаяхъ. Единственное средство уравнивать разность въ производствѣ энергіи и въ потребленіи ея и именно при избыткѣ перваго заключается въ томъ, что часть полученной энергіи уничтожаютъ съ тѣмъ, чтобы скорость рабочихъ машинъ не превосходила извѣстныхъ предѣловъ. Существуютъ различныя приспособленія для регулированія, основанныя на этомъ принципѣ.

Гидравлическій тормазной регуляторъ Бриглеба, Ганзена и К°, напр., состоитъ изъ нагнетательнаго водяного насоса, приводимаго въ движеніе транс-



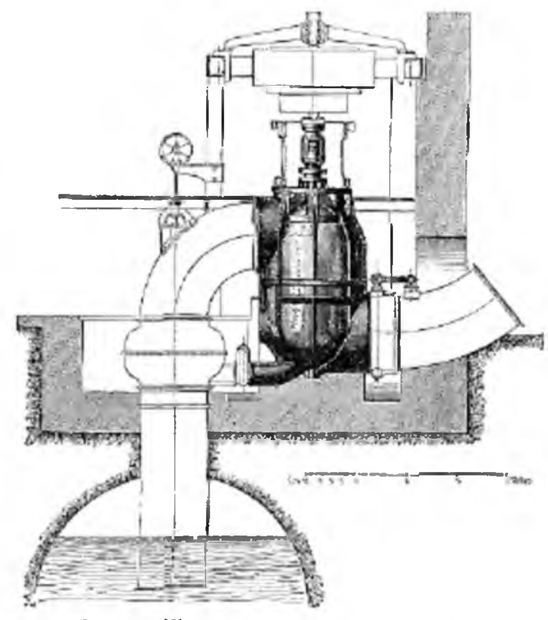
829. Поперечный разрѣзъ тюрбинной установки городской электрической станціи въ Касселѣ.



830. Тюрбина Геншеля съ двумя вѣнцами.

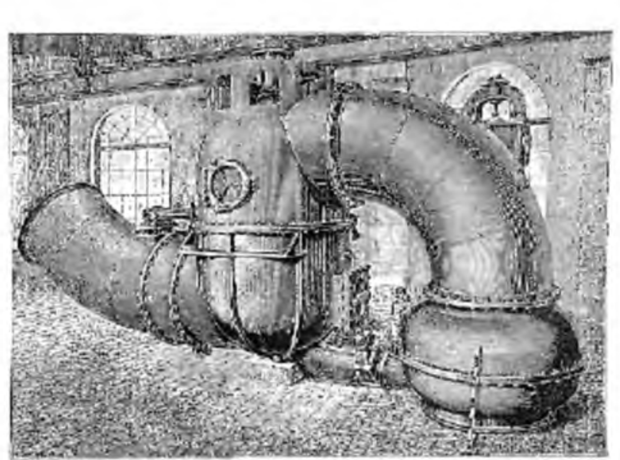
миссіей отъ тюрбины и находящагося въ соединеніи съ центробѣжнымъ регуляторомъ, приводимымъ во вращеніе также трансмиссіей отъ тюрбины; регуляторъ дѣйствуетъ при помощи рычага на регулирующій клапанъ насоса. Вода, постоянно циркулируя, вновь накачивается въ него изъ малаго резервуара черезъ всасывающій и напорный клапаны насоса. Если вся доставляемая тюрбинной энергія расходуется, такъ что число оборотовъ трансмиссіи правильно, то регуляторъ оставляетъ регулирующій клапанъ совершенно открытымъ; вода циркулируетъ почти безъ сопротивленія, и насосъ поглощаетъ тогда только очень небольшую часть энергіи, которою можно и пренебречь. Если же рабочія машины работаютъ при нормальной скорости не на полную нагрузку, и скорость вращенія начинаетъ увеличиваться, то сейчасъ же, вслѣдствіе большаго угла отклоненія регулятора, просвѣтъ регулирующаго клапана насоса уменьшается и притомъ на столько, что то сопротивленіе, которое при этомъ долженъ преодолѣть насосъ, равно избытку энергіи, доставляемой тюрбиной, сравнительно съ той, которая въ данный моментъ требуется на установкѣ. Этимъ способомъ уменьшается измѣненіе скорости при перемѣнныхъ условіяхъ потребленія энергіи настолько, что снабженныя этимъ приспособленіемъ вододѣйствующія установки немногимъ уступаютъ въ равномѣрности хода паровымъ машинамъ. При большихъ нагрузкахъ, т. е. для выравниванія значительныхъ разностей въ потребленіи энергіи такіе тормазные регуляторы были бы слишкомъ велики. Для того, чтобы возможно было удобно ихъ примѣнять для нагрузокъ любой величины, помѣщаютъ между регулирующимъ клапаномъ и насосомъ гидравлическій аккумуляторъ, который приводитъ въ дѣйствіе регулирующія приспособленія рабочей воды сейчасъ же, какъ только тормазный регуляторъ начинаетъ погло-

щать избытокъ энергіи. Такимъ образомъ тормазный регуляторъ самъ уравниваеть только небольшія колебанія въ нагрузкѣ, тогда какъ другія регулирующія приспособленія, какъ, напр., затворы, клапаны и т. д. автоматически регулирують притокъ воды.



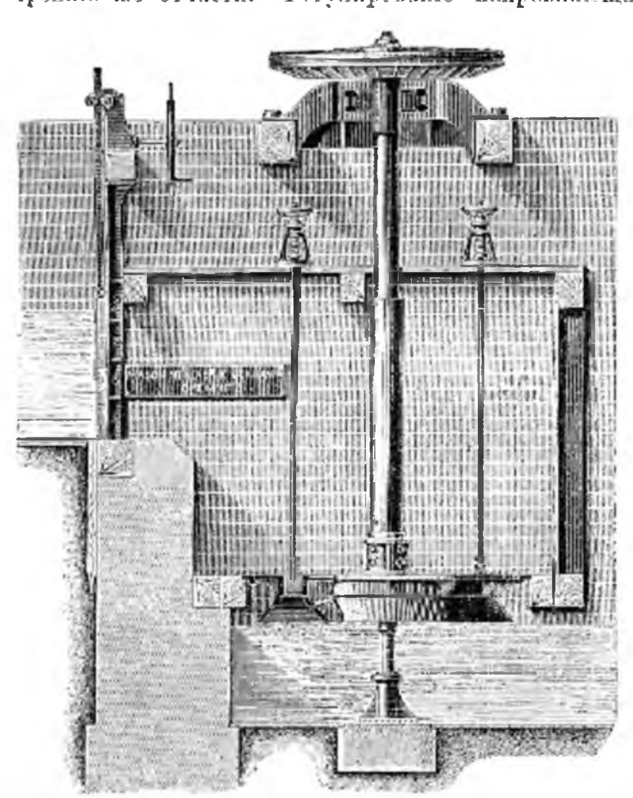
831. Тюрбина Жонваля, установленная на алюминіевомъ заводѣ въ Нейгаузенѣ (разрѣзъ).

На городской электрической станціи въ Касселѣ для полученія части потребной энергіи служать четыре тюрбины Коопа, приводящія въ дѣйствіе динамомашины; см. рис. 828 и 829. Установка работаеть водяной силой рѣки Фульды при напорѣ въ 125 м. и находится въ разстояніи 6—7 км. отъ города; тюрбины, каждая въ 50 лошадиныхъ силъ, приводять въ движеніе совмѣстно, при посредствѣ коническихъ зубчатыхъ колесъ, валъ, ведущій въ свою очередь главную трансмиссію; такъ какъ динамомашины требують значительно большаго числа оборотовъ, то между ними и главной трансмиссией включена еще промежуточная передача; къ ней присоединенъ описанный уже гидравлическій тормазный регуляторъ. Въ запасѣ на время недостатка въ водѣ имѣются два постоянные локомобиля, каждый на 100 лошадиныхъ силъ, работающіе на ту же трансмиссію. Отъ промежуточныхъ передачъ приводятся въ дѣйствіе двѣ динамомашины перемѣннаго тока, каждая по 100 лошадиныхъ силъ при 600 оборотовъ въ минуту; доставляемый ими токъ напряженіемъ въ 2200 вольтъ проведенъ на двѣ подстанціи въ Кассель; въ каждой изъ послѣднихъ установленъ двигатель перемѣннаго тока на 75—80 лошадиныхъ силъ и каждый изъ нихъ въ свою очередь приводить въ дѣйствіе двѣ динамомашины постояннаго тока, доставляющія токъ низкаго напряженія для освѣщенія. На самой станціи таким образомъ не производится тока, непосредственно служащаго для освѣщенія, но сила, развиваемая тюрбинами, превращается въ электрическую энергію, передается на разстояніе 7 км. и послѣ новаго преобразованія въ механическую работу и опять въ электрическую энергію примѣняется для цѣлей освѣщенія и движенія.



832. Внѣшній видъ тюрбинъ, установленныхъ на алюминіевомъ заводѣ въ Нейгаузенѣ.

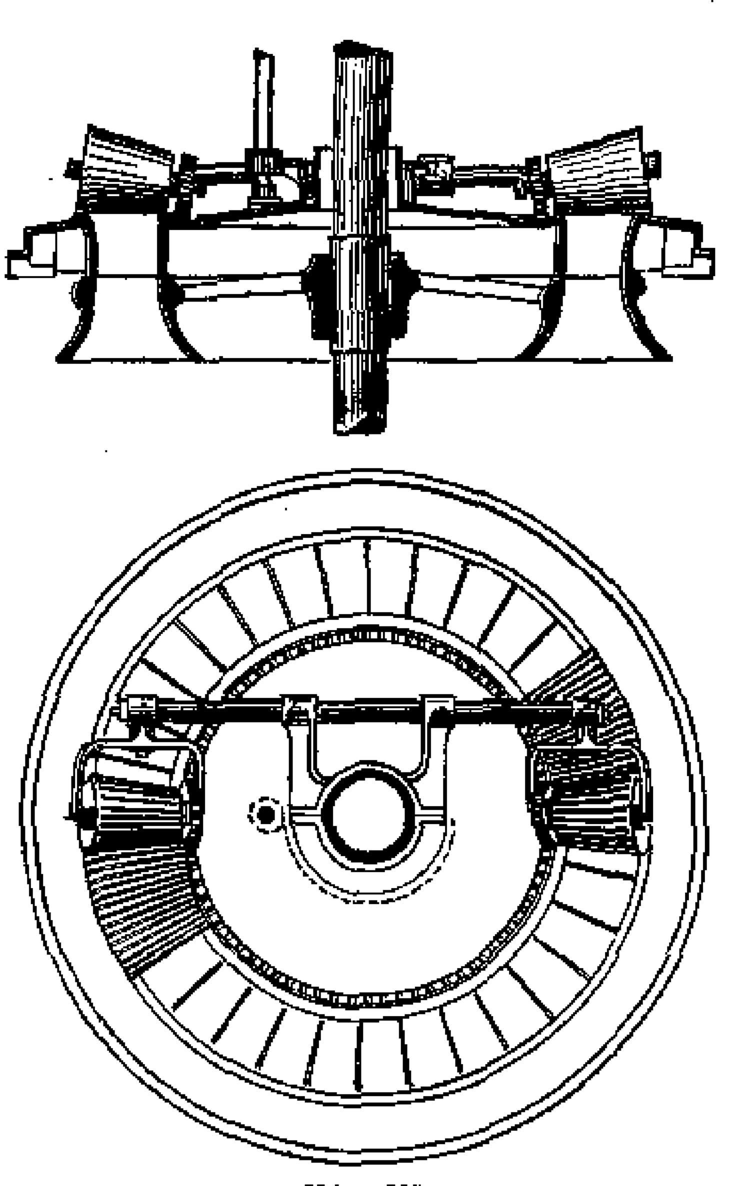
Тюрбины съ двумя вѣнцами для сильно перемѣннаго количества рабочей воды имѣютъ два совершенно раздѣленные вѣнца колесъ, въ каждомъ по направляющему и тюрбинному колесу. При достаточномъ количествѣ воды оба вѣнца работаютъ вмѣстѣ; внутренній вѣнецъ снабженъ приспособленіемъ для регулированія, причемъ отдѣльные направляющіе каналы могутъ быть закрыты по всей окружности, такъ что рабочая вода протекаетъ только черезъ внѣшнее тюрбинное колесо и оно одно работаетъ; при среднемъ же количествѣ воды внѣшній вѣнецъ работаетъ съ полной силой, внутренній же отчасти. Регулированіе направляющихъ лопатокъ вѣнцовъ можетъ производиться различными способами, какъ это производится и въ тюрбинахъ съ однимъ вѣнцомъ. Рис. 830 представляетъ тюрбину Геншеля съ двумя вѣнцами постройки машиностроительнаго завода „Германія“ (прежде I. С. Швальбе въ Хемницѣ) съ открытымъ резервуаромъ, свободно стоящую на колонкахъ на каменномъ фундаментѣ; внутренній вѣнецъ можно открывать въ-ручную; тюрбина эта при среднемъ количествѣ воды, при работѣ внѣшняго вѣнца вполнѣ и внутренняго наполовину и при напорѣ въ 2,5 м. развиваетъ 186 лошадиныхъ силъ.



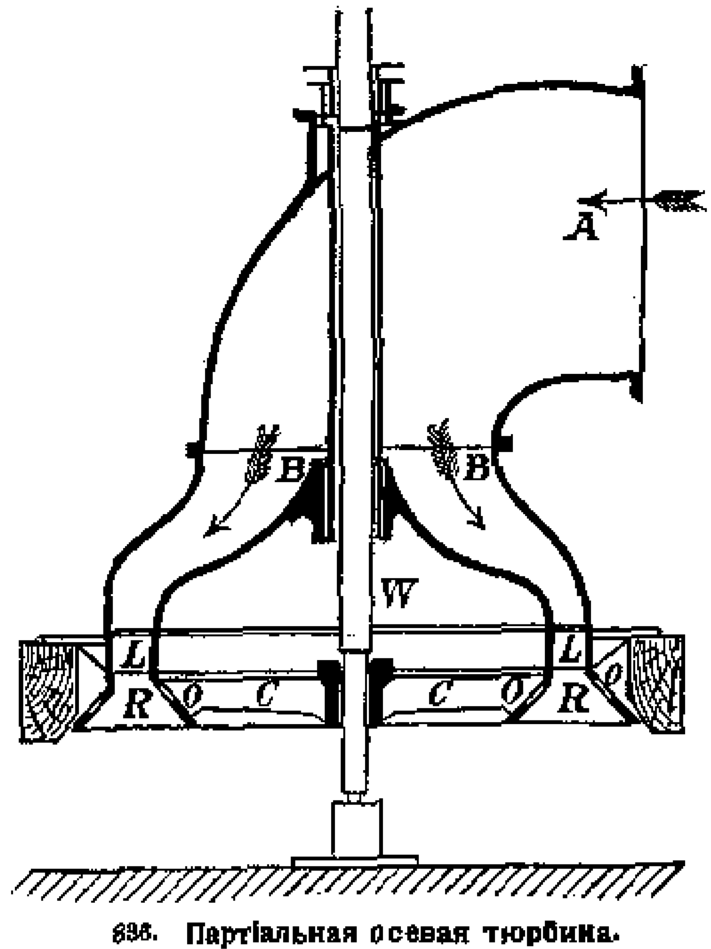
833. Осевая тюрбина полнаго дѣйствія Жирара съ открытымъ резервуаромъ.

Большая установка съ тюрбинами Жонваля находится на алюминіевомъ заводѣ въ Нейгаузенѣ при Рейнскомъ водопадѣ подъ Шаффгаузеномъ. Рис. 831 и 832 представляютъ новыя тюрбины этой установки въ разрѣзѣ и внѣшній ихъ видъ. Тюрбины эти построены машиностроительнымъ заводомъ Эмеръ, Виссъ и К° въ Цюрихѣ и Равенсбергѣ (Вюртембергъ) и служатъ для приведенія въ дѣйствіе большихъ динамомашинъ, при помощи тока которыхъ добывается изъ глинозема въ большихъ размѣрахъ алюминій, получившій въ новѣйшее время такое большое примѣненіе. Вся установка оборудована еще недавно; въ 1889 г. компанія „Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft“ пріобрѣла отъ швейцарскаго кантона Шаффгаузенъ право на пользованіе двигательною силою Рейна выше водопада въ количествѣ 20 куб. метр. воды въ секунду; полезное паденіе достигаетъ 20 м.; тюрбины при отдачѣ въ 75% могутъ развивать такимъ образомъ до 4000 лошадиныхъ силъ. Водяная сила была вполнѣ использована восемью тюрбинами, изъ которыхъ двѣ болѣе старыя доставляли 600 и 300 лошадиныхъ силъ, а новыя, изображенныя на рис. 831 и 832, развиваютъ каждая по 610 лошадиныхъ силъ. Тюрбины устроены, какъ видно изъ рисунковъ, съ обратнымъ

расположеніемъ частей: направляющее колесо лежитъ подъ тюрбиннымъ колесомъ и рабочая вода подводится снизу; этимъ, какъ и въ ранѣе описанныхъ тюрбинахъ Нагеля, достигается то, что давленіемъ воды отчасти уменьшается значительный вѣсъ колеса тюрбины, вала и непосредственно насаженной на него арматуры (якоря) динамомашины и такимъ образомъ снимается нагрузка съ нижняго конца вала (пяты вала), тогда какъ при обыкновенномъ устройствѣ къ вѣсу всѣхъ этихъ частей еще прибавляется дѣйствующій сверху вѣсъ столба воды. Рабочая вода проведена изъ Рейна каменнымъ каналомъ къ трубамъ изъ кованнаго желѣза діаметромъ въ 2,50 м.; къ послѣднимъ присоединены отвѣтвленія къ отдѣльнымъ тюрбинамъ. Отработавшая вода стекаетъ по закрытымъ трубамъ въ общій сточный каналъ, въ который подъ поверхностью воды впадаютъ отдѣльныя сточныя трубы. Такимъ образомъ здѣсь утилизируется также давленіе столба воды, начиная отъ тюрбиннаго колеса до уровня нижней воды, равное 4,5 метр., причемъ полный напоръ достигаетъ 15,50 м. Приспособленія для регулированія въ данномъ случаѣ очень просты, такъ какъ постоянно пользуются полнымъ количествомъ воды въ 20 литровъ въ секунду, на которое и построены тюрбины; нагрузка также не подвержена никакимъ быстрымъ или частымъ измѣненіямъ. Вслѣдствіе этого здѣсь установленъ только управляемый вручную кольцевой запоръ въ отводной трубѣ, посредствомъ котораго устанавливается медленное и равномѣрное замедленіе теченія воды. Для полнаго выключенія отдѣльныхъ тюрбинъ въ каждое отвѣтвленіе включено по запорному приспособленію. Между нижнею частью тюрбиннаго кожуха и отводной трубой устроено особое соединеніе съ запоромъ и отводомъ, посредствомъ котораго какъ изъ тюрбины, такъ и изъ отвѣтвленій вода можетъ быть спускаема. Колеса тюрбинъ имѣютъ діаметръ въ 1,62 м. и дѣлаютъ въ минуту 150 оборотовъ.



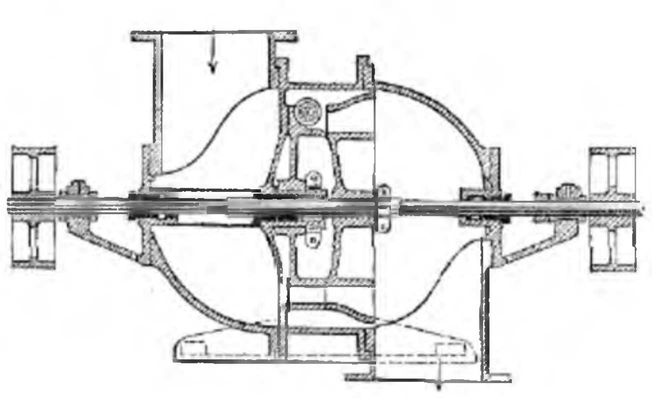
834 и 835.
Гибкіе затворы для осевыхъ тюрбинъ.



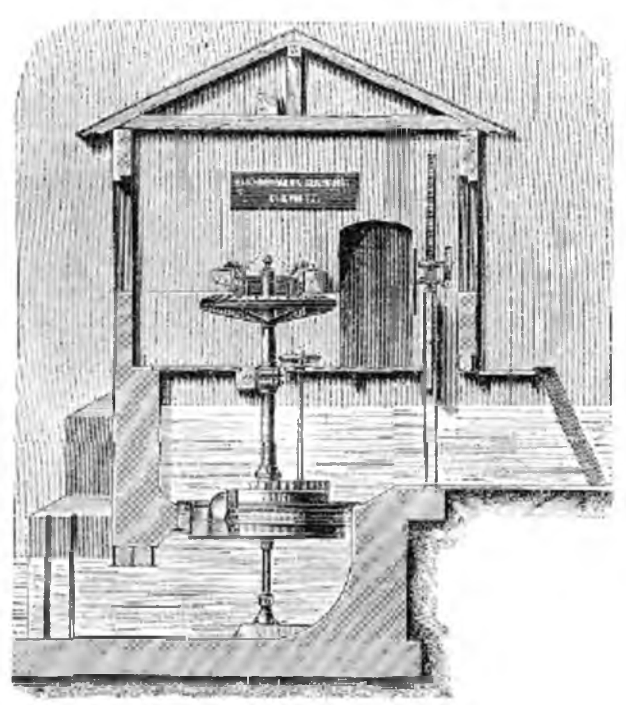
836. Партіальная осевая тюрбина.

Съ половины семидесятыхъ годовъ выдвинулись осевыя тюрбины уже ранѣе упомянутаго французскаго гражданскаго инженера **Жирара**. Тюрбины

Жирара принадлежатъ къ тюрбинамъ, дѣйствующимъ давленіемъ или акціонными; рабочая вода выходитъ изъ направляющаго колеса со скоростью, соотвѣтствующею полному дѣйствующему напору, скользитъ по внутренней сторонѣ вдоль лопатокъ тюрбиннаго колеса, не касаясь другихъ выпуклыхъ сторонъ ихъ, не заполняя такимъ образомъ нигдѣ каналовъ тюрбиннаго колеса; здѣсь вода отдаетъ тюрбинному колесу свою живую силу, вслѣдствіе чего ея скорость насколько возможно уменьшается. Такъ какъ каналы никогда не бываютъ заполнены водой, то акціонныя тюрбины не должны быть погружаемы въ нижнюю воду, но должны быть установлены на небольшомъ разстояніи надъ уровнемъ воды; вслѣдствіе этого ихъ иногда зовутъ также подвѣсными тюрбинами. Впрочемъ, самъ Жираръ устраивалъ въ началѣ свои тюрбины въ видѣ реакціонныхъ тюрбинъ, т.-е. съ тюрбиннымъ колесомъ, погруженнымъ въ нижнюю воду. Въ открытомъ выходѣ воды заключается нѣкоторое преимущество этой системы, такъ какъ вслѣдствіе того, что все на виду, по простому осмотру можно судить, съ большою или съ малою абсолютною скоростью вытекаетъ вода изъ тюрбины и насколько совершенно вода отдаетъ свою живую силу; поэтому въ свою очередь можно заключить о болѣе или менѣе лучшемъ дѣйствіи данной тюрбины. Приданіемъ соотвѣтственной кривизны направляющимъ перегородкамъ и лопаткамъ колеса возможно очень хорошее регулированіе, такъ что эти тюрбины работаютъ приблизительно съ постояннымъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія, будутъ ли всѣ каналы и лопатки или только часть ихъ подвергаемы дѣйствію воды, т. е. работаютъ и какъ тюрбины полнаго дѣйствія и какъ партіальныя тюрбины. Вслѣдствіе этого тюрбины



837. Осевая тюрбина съ горизонтальнымъ валомъ.



838. Комбинированная тюрбина (сложная тюрбина).

Жирара могутъ быть удобно примѣняемы тамъ, гдѣ идетъ рѣчь о пользованіи очень перемѣннымъ количествомъ воды, но съ достаточно постояннымъ напоромъ, т.-е. гдѣ не имѣетъ мѣста повышеніе уровня воды въ сточномъ каналѣ. Тюрбины эти строются какъ въ видѣ радіальныхъ тюрбинъ, такъ и въ видѣ осевыхъ, по большей же части въ видѣ осевыхъ; обыкновенно подъ именемъ тюрбинъ Жирара подразумѣваются осевыя тюрбины, работающія давленіемъ. Если бы при небольшихъ количествахъ воды и большомъ напорѣ тюрбина имѣла слишкомъ небольшой діаметръ при полномъ притокѣ воды и большое число оборотовъ, то ихъ устраиваютъ въ видѣ партіальныхъ тюрбинъ. Приспособленія для регулированія данныхъ тюрбинъ подобны прежде описаннымъ; они состоятъ въ прикрывающихъ щитахъ, кольцевыхъ затворахъ, вертикальныхъ и горизонтальныхъ заслонкахъ. На рис. 833 представлена осевая тюрбина полнаго дѣйствія Жирара съ открытымъ резервуаромъ; въ разрѣзѣ изображены направляющее и тюрбинное колеса; они снабжены регулировочными щитами для полнаго и частичнаго притока воды. На рисункѣ ясно видно расположеніе всѣхъ частей; щиты передвигаются вверхъ и внизъ стержнями съ винтовыми на верхней ихъ части нарѣзками при помощи ручныхъ колесъ. Тюрбина, изображенная на рисункѣ, назначена на 1000—5000 литровъ воды въ секунду, при напорѣ въ 1—4,5 м. и развиваетъ при напорѣ въ 3 м. и при расходѣ въ 4 куб. м. воды 120 лошадиныхъ силъ.

На рис. 834 и 835 видно устройство гибкихъ затворовъ для осевыхъ тюрбинъ конструкціи Х. Квева въ Эрфуртѣ; при помощи двухъ зубчатыхъ колесъ, изъ которыхъ одно приводится въ дѣйствіе сверху посредствомъ стержня и ручного колеса, затворъ можетъ быть повернутъ на половину окружности, вслѣдствіе чего онъ прикроетъ всѣ лежащіе на противуположныхъ концахъ діаметра направляющіе каналы.

Закрытая партіальная тюрбина Жирара съ впускомъ воды въ двухъ мѣстахъ на большіе напоры изображена на рис. 836 схематически въ разрѣзѣ; подводная труба *A* съ рабочей водой развѣтвляется на два рукава *B*, сильно съуживающіеся въ направленіи радіуса; изъ нихъ вода поступаетъ въ двухъ лежащихъ другъ противъ друга мѣстахъ на направляющія лопатки *L*, находящіяся на двухъ діаметрально противуположныхъ частяхъ окружности надъ тюрбиннымъ колесомъ *R*. Послѣднее при помощи крестовины *C* накрѣпко соединено съ валомъ *W*. Во всѣхъ тюрбинахъ, дѣйствующихъ давленіемъ со свободнымъ впускомъ воды, необходимо „вентилированіе“ лопатокъ движущагося колеса для равномѣрнаго и безпрепятственнаго протеканія воды, т.-е. воздухъ въ нихъ долженъ имѣть выходъ; для этой цѣли служатъ отверстія, обозначенныя на чертежѣ черезъ *OO*.

Осевыя тюрбины, дѣйствующія давленіемъ, на малыя силы строятся также и съ горизонтальнымъ валомъ. Рис. 837 представляетъ въ разрѣзѣ такую тюрбину работы Х. Квева въ Эрфуртѣ; рабочая вода поступаетъ сверху въ закрытый резервуаръ, идетъ въ горизонтальномъ направленіи черезъ направляющее колесо и тюрбинное колесо и вытекаетъ изъ резервуара черезъ нижнюю сточную трубу. Горизонтальный валъ снабженъ съ обѣихъ сторонъ шкивами для ременнаго соединенія съ рабочими машинами или съ трансмиссіей.

Въ настоящее время для перемѣнныхъ количествъ воды строятся осевыя тюрбины съ двумя (иногда и съ тремя) концентрическими вѣнцами колесъ, извѣстныя подъ именемъ комбинированныхъ (сложныхъ) тюрбинъ; онѣ даютъ еще лучшіе результаты при большихъ колебаніяхъ въ притокѣ воды. По большей части внѣшній вѣнецъ дѣйствуетъ, какъ тюрбина Геншеля или Жонваля, внутренній же вѣнецъ, какъ тюрбина, дѣйствующая давленіемъ. Рис. 838 представляетъ открытую сложную тюрбину уже упомянутаго машин-

ностроительнаго завода „Германія“ въ Хемницѣ; количество протекающей воды можетъ колебаться между 0,3 и 3 куб. м. въ секунду, напоръ отъ 1 до 3 м.

Водостолбовыя машины.

Изобрѣтеніе водостолбовыхъ машинъ. Водостолбовыя машины Рейхенбаха для разсолопровода изъ Берхтесгадена въ Розенгеймъ. Болѣе новыя водостолбовыя машины.

Способъ дѣйствія водяныхъ двигателей этого рода уже былъ изложенъ во введеніи къ этой главѣ. Ихъ открытіе совпадаетъ съ устройствомъ первой, бывшей въ употребленіи въ началѣ 18 столѣтія паровой машины Ньюкомена; благодаря успѣху послѣдней явилась мысль о возможности подобнымъ же образомъ заставить давленіемъ воды двигаться въ цилиндрѣ поршень назадъ и впередъ. Французы Денисаръ и Дюеллъ устроили поршневую машину, приводимую въ дѣйствіе водой источника съ высотой паденія въ 9 футъ и поднимавшей $^{8}/_{64}$ расходуемаго количества воды на высоту на 32 фута выше источника. Этотъ опытъ не сопровождался никакимъ дальнѣйшимъ примѣненіемъ этихъ машинъ; настоящее изобрѣтеніе водостолбовыхъ машинъ послѣдовало около половины 18 столѣтія, почти одновременно Гёллемъ въ Венгріи, Винтершмидтомъ въ Германіи и Вестгартомъ въ Англіи. Старыя машины получили большое распространеніе на венгерскихъ серебряныхъ и свинцовыхъ рудникахъ въ Каринтіи, впослѣдствіи также на горныхъ промыслахъ въ Саксоніи. Одна уже усовершенствованная старая каринтійская машина въ Крейтѣ при Глейбергѣ имѣла два рабочихъ цилиндра простого дѣйствія съ перемѣннымъ подъемомъ; она *работала при высотѣ столба воды въ 258 австрійскихъ фута (82 м.) и каждый* поршень дѣлалъ 8 подъемовъ въ минуту. Машина эта служила для приведенія въ дѣйствіе насоса и доставляла при каждомъ размахѣ поршня 564 фунта воды на высоту (по нормали) въ 432 фута (316 литровъ на 138 м.). Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія ея достигалъ 82%. Существенныя улучшенія въ водостолбовыхъ машинахъ, въ особенности въ распредѣлительныхъ приспособленіяхъ, впервые были введены баварскимъ инженеромъ Рейхенбахомъ въ началѣ 19 столѣтія. Благодаря имъ стало возможнымъ осуществленіе грандіознаго и даже для настоящаго времени замѣчательнаго разсолопровода изъ Берхтесгадена въ Розенгеймъ на Иннѣ, гдѣ разсолъ перекачивается по трубамъ на протяженіи $12^{1}/_{2}$ миль на высоту свыше 1000 м. къ мѣсту его обработки. Такая высота подъема въ то время была неслыханною и даже и теперь представляется значительною для напорныхъ станцій. Рейхенбахъ разрѣшилъ задачу примѣненіемъ превосходныхъ водостолбовыхъ машинъ новой собственной конструкціи, для приведенія въ дѣйствіе которыхъ онъ подвелъ съ далекаго разстоянія воду съ горъ, большимъ напоромъ которой онъ и воспользовался. Весь разсолопроводъ отъ Берхтесгадена до Розенгейма раздѣленъ на двѣнадцать участковъ; подъемъ воды распредѣленъ на 12 насосныхъ станцій, приводимыхъ въ дѣйствіе восемью водостолбовыми машинами и восемью водоподъемными машинами. Наибольшую высоту подъема имѣетъ установка при Иллзанкѣ между Берхтесгаденомъ и Рейхенгаллемъ въ 1229 футъ; водостолбовая машина Рейхенбаха работаетъ при расходѣ рабочей воды въ 1 куб. футъ (32 литра) въ секунду и при напорѣ въ 372 фута (119 м.). Эта прекрасная старая машина работаетъ съ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія въ 83% (по даннымъ проф. Рюльмана).

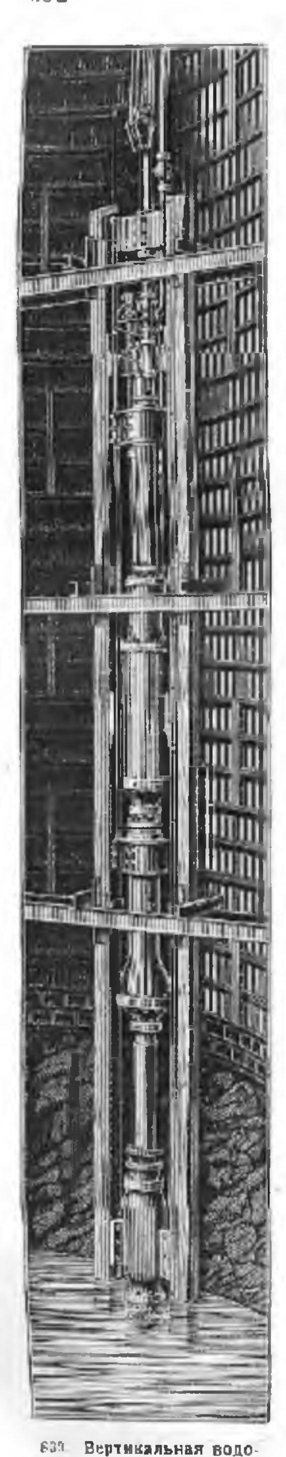
Рейхенбахъ подраздѣляетъ свои водостолбовыя машины на машины простого дѣйствія и машины двойного дѣйствія, смотря по тому — дѣйствуетъ ли рабочая вода на одну сторону или попеременно на обѣ стороны рабочаго

поршня; послѣдній въ обѣихъ конструкціяхъ соединенъ непосредственно съ поршнемъ насоса; при машинахъ простого дѣйствія поршень работаетъ только при ходѣ внизъ, причемъ рабочая вода сверху давитъ на рабочій поршень, тогда какъ при машинахъ двойного дѣйствія насосъ работаетъ какъ при ходѣ поршня вверхъ, такъ и внизъ. Машины Рейхенбаха примѣняются въ особенности при насосахъ на рудникахъ въ Гарцѣ, предназначенныхъ для значительныхъ глубинъ (до 200 м.).

Въ сороковыхъ годахъ водостолбовыя машины были еще болѣе усовершенствованы англійскимъ заводомъ Армстронга, сдѣлавшимся впослѣдствіи знаменитымъ по выдѣлкѣ пушекъ; имъ были изобрѣтены гидравлическіе аккумуляторы, благодаря которымъ водостолбовыя машины сдѣлались примѣнимы, какъ вторичные двигатели, въ особенности для приведенія въ дѣйствіе крановъ и подъемныхъ механизмовъ (дальнѣйшее, относящееся къ этому вопросу, помѣщено въ заключительной главѣ о центральныхъ устройствахъ для распредѣленія энергіи).

Въ новѣйшее время водостолбовыми машинами пользуются по преимуществу въ горномъ дѣлѣ для приведенія въ дѣйствіе водоподъемныхъ машинъ, а также другихъ машинъ, какъ въ соединеніи съ естественными водяными силами, такъ и съ водой, приводимою искусственно подъ давленіе посредствомъ водяныхъ прессовъ; далѣе они широко распространены какъ водяные двигатели или машины, служащія для накачиванія воды на центральныхъ станціяхъ распредѣлительныхъ сѣтей съ водой подъ большимъ давленіемъ. Гдѣ вода первоначально доводится до высокаго давленія посредствомъ нагнетательныхъ насосовъ съ механическимъ приводомъ, напр. посредствомъ паровыхъ машинъ, тамъ водостолбовыя машины являются только средствомъ для передачи работы, развиваемой первичной машиной (паровая машина съ нагнетательными насосами); при приведеніи же въ дѣйствіе водостолбовыхъ машинъ посредствомъ рабочей воды съ естественнымъ напоромъ, наоборотъ, *они сами обладаютъ работоспособностью, равною произведенію* изъ количества воды на высоту ея напора. Способъ же дѣйствія самихъ водостолбовыхъ машинъ во всякомъ случаѣ въ обоихъ этихъ случаяхъ мало разнится; при передачѣ работы при посредствѣ водяныхъ прессовъ по большей части пользуются очень большими давленіями съ цѣлью уменьшенія размѣровъ водопроводовъ и машинъ, отъ 50 и до нѣсколькихъ сотенъ атмосферъ; такихъ давленій, при естественныхъ водяныхъ силахъ, не встрѣчается.

Примѣненія водостолбовыхъ машинъ въ горномъ дѣлѣ представляютъ *нѣкоторыя преимущества*; въ *настоящее время подземныя машины для откачиванія* воды все болѣе и болѣе вытѣсняютъ неуклюжія, тяжелыя поршневыя машины; послѣднія дѣлаютъ сравнительно небольшое число размаховъ, при наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ отъ 8 до 10 въ минуту, вслѣдствіе большой тяжести двигающихся вверхъ и внизъ частей. При большихъ количествахъ откачиваемой воды требуются большіе насосы и тяжелые поршневые стержни, занимающіе въ шахтахъ много мѣста; кромѣ того такія тихоходныя машины не экономичны въ отношеніи расхода пара. Примѣненіе подземныхъ водостолбовыхъ машинъ имѣетъ нѣкоторыя особыя *преимущества передъ подземными паровыми машинами*; гдѣ *имѣется на лицо* вода подъ давленіемъ, конечно ихъ примѣненіе, можно напередъ сказать, выгодно. При пользованіи водой подъ давленіемъ отпадаетъ нежелательное нагрѣваніе шахтъ и машинныхъ подземныхъ помѣщеній отъ паропроводовъ, что для шахтъ, уже самихъ по себѣ сильно нагрѣтыхъ, имѣетъ громадное значеніе; двигатели очень просты и не требуютъ почти никакого ухода, а также не требуется въ данномъ случаѣ трубопроводовъ для конденсаціонной воды изъ паровыхъ цилиндровъ, рубашекъ паровыхъ цилиндровъ и т. д.



839. Вертикальная водостолбовая машина съ насосомъ, работы Haniel'a и Lueg'a въ Дюссельдорфѣ.

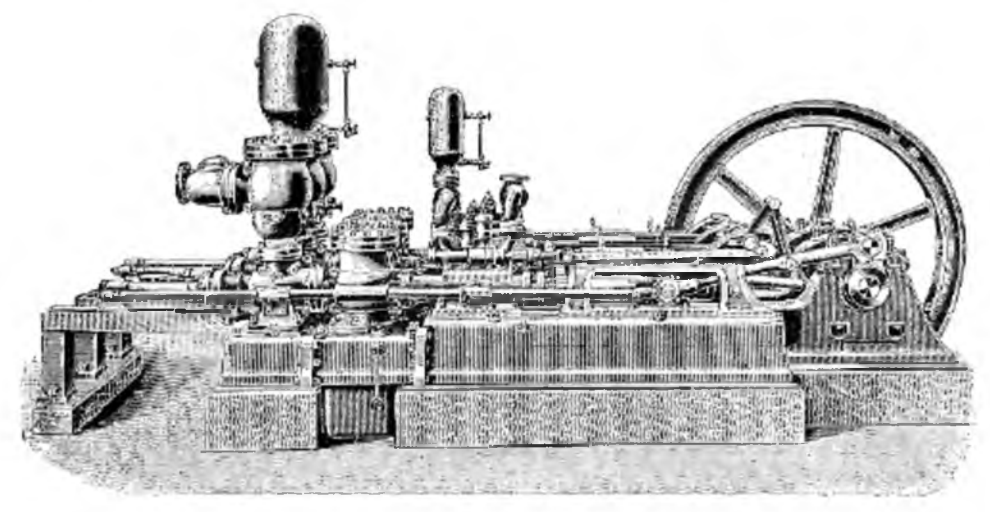
Вслѣдствіе всѣхъ этихъ преимуществъ примѣненіе подземныхъ водостолбовыхъ машинъ болѣе доступно и служба ихъ болѣе надежна, что въ особенности имѣетъ важное значеніе для машинъ въ горномъ дѣлѣ. Здѣсь еще слѣдуетъ упомянуть о томъ обстоятельствѣ, что такія машины могутъ продолжать работать и управляться сверху даже и въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе какой либо несчастной случайности машинное помѣщеніе будетъ подъ водою. Наконецъ водостолбовыя машины работаютъ съ большимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія и такимъ образомъ примѣненіе ихъ экономично.

Водостолбовыя машины устраиваются какъ вертикальными, такъ и горизонтальными; вертикальная установка требуется въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо приводить въ дѣйствіе вертикальные насосы, находящіеся въ самихъ шахтахъ, въ особенности напримѣръ при углубленіи шахты. Рис. 839 представляетъ вертикальную водостолбовую машину, соединенную съ насосами Haniel и Lueg'a въ Дюссельдорфѣ — Графенбергѣ. Цилиндръ насоса виситъ непосредственно подъ рабочимъ цилиндромъ. Машина и насосъ подвѣшены при посредствѣ подъемныхъ блоковъ на желѣзныхъ канатахъ и соединены гибкими трубами съ водопроводомъ съ водою подъ давленіемъ и съ водоподъемными трубами.

Горизонтальныя водостолбовыя машины строятся съ маховыми колесами и безъ нихъ. Первыя, такъ называемыя, вращающіяся машины заслуживаютъ предпочтенія, такъ какъ въ нихъ лучше уравниваются дѣйствія толчковъ ударовъ при каждомъ отдѣльномъ ходѣ поршня, вслѣдствіе чего въ нихъ допустимо большее число ходовъ поршня въ минуту и ими можетъ быть достигнутъ болѣе равномѣрный ходъ. Одна изъ большихъ, тройная вращающаяся водостолбовая машина, служащая для откачиванія воды, представлена на рис. 840. Гидравлическій двигатель, приводимый въ дѣйствіе водою подъ давленіемъ посредствомъ трехъ поршней простого дѣйствія монтированъ непосредственно на общемъ основаніи съ насосомъ и дѣйствуетъ посредствомъ тягъ на три лежащіе сзади поршня насоса простого дѣйствія. Три главныхъ цилиндра работаютъ отдѣльно, находящійся съ боку маховикъ служитъ для достиженія равномѣрнаго хода. Представленная на рисункѣ машина фирмы Ганіеля и Люега въ Дюссельдорфѣ, устроена для рудника около Рейна при Рурортѣ; она стоитъ на глубинѣ около 450 м. и приводится въ дѣйствіе водой подъ давленіемъ. Давленіе рабочей воды днемъ достигаетъ 150 атмосферъ, къ которымъ слѣдуетъ прибавить высоту столба воды до указанной глубины въ 450 м., т.-е. 45 атмосферъ, такъ что внизу у машины имѣется громадное давленіе воды въ 195 атмосферъ. Это соотвѣтствовало бы при естественной

водяной силѣ напору въ 1950 м. Въ дѣйствительности водостолбовая машина работаетъ только съ давленіемъ въ 150 атмосферъ, такъ какъ вода не выпускается послѣ совершенія работы изъ главнаго цилиндра, но поднимается подъ давленіемъ по особымъ возвратнымъ трубамъ опять на высоту въ 450 м. до находящагося на верху нагнетательнаго насоса, такъ что непосредственно за рабочимъ поршнемъ имѣется встрѣчное давленіе въ 45 атмосферъ. Такимъ образомъ здѣсь пользуются постоянно одною и тою же водою и она дѣлаетъ постоянный кругооборотъ. Машина дѣлаетъ 60 оборотовъ въ минуту и каждый отдѣльный насосъ доставляетъ въ минуту 2—5 кб. м. воды съ подъемами на высоту въ 450 м.

Одна изъ самыхъ большихъ, повидимому, даже самая большая изъ всѣхъ до сихъ поръ построенныхъ водостолбовыхъ машинъ находится въ ходу у королевской горной инспекціи въ Гарцѣ при Клаусталѣ (устроена фирмой



840. Горизонтальная подземная вращающаяся водостолбовая машина для откачиванія воды въ рудникахъ.

Ганіеля и Люега, Дюссельдорфъ); она приводитъ въ дѣйствіе подъемный механизмъ (см. томъ V) для глубины шахты въ 1000 м. и установлена на 360 м. подъ поверхностью земли. Рабочая вода подведена къ машинѣ съ поверхности земли и стекаетъ отъ нея въ штольню.

Здѣсь умѣстно еще упомянуть объ особомъ водяномъ двигателѣ, которымъ пользовались при постройкѣ туннеля Mont-Cenis для полученія сжатаго воздуха, приводившаго въ дѣйствіе буровыя машины. Она согласно даннымъ въ началѣ объясненіямъ собственно не принадлежитъ къ настоящимъ водостолбовымъ машинамъ, такъ какъ она работаетъ совсѣмъ безъ поршней. При наличности большихъ водяныхъ силъ съ большимъ напоромъ ею пользуются для приведенія въ дѣйствіе воздушныхъ компрессоровъ такимъ образомъ, что утилизируютъ непосредственно живую силу падающей воды, безъ всякихъ преобразованій; въ ней заставляютъ воду падать въ U-образную, съ неровными колѣнами трубку, именно въ колѣно въ 25 м. высотою, благодаря чему въ другой закрытой вѣтви въ 5 м. высотою, дѣйствіемъ ударовъ сжимается толчками воздухъ. Возвратный клапанъ препятствуетъ выходу сжатаго воздуха, тогда какъ другой клапанъ у самой нижней части трубы съ водою выпускаетъ воду послѣ каждаго удара. Сжатый воздухъ проводится къ воздушной камерѣ и отсюда по трубопроводамъ въ туннелѣ къ приводимымъ имъ въ дѣйствіе буровымъ машинамъ. Особый распредѣлительный механизмъ черезъ равные промежутки времени производитъ открываніе и закрываніе клапановъ для притока и спуска воды. Такая машина, благодаря отсутствію какихъ либо промежуточныхъ механизмовъ, какъ то поршня, поршневого стержня, колѣнчатаго вала и т. п. очень проста въ устройствѣ, но въ

ней удары на столько сильны, что какъ трубы, такъ и всѣ соединенія не выдерживаютъ продолжительной службы. Вслѣдствіе этого послѣ первой построенной на этомъ принципѣ машины другихъ такихъ же не появлялось; имъ болѣе предпочитаютъ водостолбовыя машины.

Пользованіе водяными силами.

Общій обзоръ. Пользованіе водяными силами Рейна. Установка подъ Шаффгаузеномъ. Передача силы въ Рейнфельденѣ.

Въ послѣдніе годы много говорилось не только среди узкаго круга спеціалистовъ, но и вообще въ публикѣ, объ улучшеніи пользованія силами природы, главнымъ образомъ, водяными силами, въ особенности съ тѣхъ поръ, какъ нашли средство и придумали различныя системы передавать силу, а слѣд. и работу съ мѣста ея полученія на далекія разстоянія, въ мѣста потребленія. Постоянно появляются проекты пользованія водяными силами, въ особенности большихъ водопадовъ, и даже серьезные люди и техники начали говорить о необходимости пользоваться по возможности повсюду, даже находящимися на равнинахъ неисчерпаемыми источниками даровой водяной силы, которыми еще до сихъ поръ не пользуются и отъ разработки и пользованія которыми можно ожидать большого экономическаго переворота. Такія надежды однако сильно преувеличены; только при особыхъ условіяхъ есть возможность экономично пользоваться „даровой" водяной силой; въ концѣ концовъ экономическій успѣхъ такихъ установокъ, какъ и вообще всѣхъ промышленныхъ предпріятій, бываетъ относительно умѣреннымъ. Какъ громадныя, еще почти нетронутыя, лежащія въ землѣ богатыя залежи каменнаго угля, точно также и водяныя силы могутъ быть получаемы даромъ; но каменный уголь заключаетъ въ себѣ значительно большій запасъ энергіи, чѣмъ всѣ вмѣстѣ взятыя возможныя для утилизаціи водяныя силы. Сдѣлаемъ сравненіе условій, при которыхъ получается работа вслѣдствіе сгоранія каменнаго угля и при пользованіи водяной силой и сравнимъ потребныя количества того и другого матеріяла для полученія опредѣленной работы. 1 кгр. каменнаго угля при сгораніи развиваетъ около 7000 калорій тепла, слѣдовательно по предъидущему онъ эквивалентенъ 3 000 000 кгр. работы. Какъ увидимъ въ слѣдующей главѣ, изъ этого количества тепла въ паровомъ котлѣ и въ паровой машинѣ превращается въ полезную работу въ хорошихъ большихъ установкахъ, въ среднемъ около 10%; такимъ образомъ изъ 1 кгр. каменнаго угля возможно получить около 300 000 кгрм. работы: если мы примемъ только 270 000 кгрм., то можно сказать, что при сгораніи въ теченіи 1 часа 1 килограмма каменнаго угля развивается $\frac{270\,000}{60.60} = 75$ кгрм. въ секунду, т.-е. одна лошадиная сила. Изъ заключающейся въ водѣ энергіи тюрбинами превращается въ полезную механическую работу около 75%; для одной лошадиной силы такимъ образомъ необходимо количество воды въ $\frac{75}{0,75} = 100$ кгр. при напорѣ въ 1 м. или 20 кгр. при напорѣ въ 5 метровъ, т.-е. для полученія той же работы, какъ и при сгораніи 1 кгр. угля. Отсюда конечно еще нельзя извлечь никакого заключенія о значеніи обоихъ матеріаловъ для техники; но изъ послѣдняго можно судить о томъ, что каменный уголь обладаетъ значительно большею работоспособностью, чѣмъ вода. На этой большой способности угля развивать тепло и на большомъ запасѣ въ немъ энергіи и основано его превосходство въ экономическомъ отношеніи надъ остальными источниками энергій, потому что благодаря этому возможно съ сравнительно говоря небольшими количествами горючаго матеріала, который къ тому же вездѣ можно достать, получать большія силы. Далѣе, запасъ топ-

лива въ любое время можетъ быть пополненъ сообразно со спросомъ на энергію, тогда какъ при водяныхъ силахъ имѣетъ мѣсто по большей части противуположное; тѣ случаи, гдѣ воды при всѣхъ обстоятельствахъ бываетъ достаточно, представляютъ рѣдкія исключенія. По большей части количество воды и ея напоръ для данной установки мѣняются въ опредѣленныхъ, довольно узкихъ предѣлахъ, и установки, имѣющія цѣлью пользоваться водяною силою, должны быть устраиваемы сообразно съ величиной этой водяной силы. Не рѣдко случается, что водяныя силы, для пользованія которыми произведены были большія затраты на установку, не могутъ доставлять всей требуемой энергіи въ періодъ недостаточнаго притока воды, вслѣдствіе чего является необходимость въ установкѣ еще особыхъ паровыхъ машинъ, берущихъ на себя часть работы всей установки. Послѣднее отнюдь не при всѣхъ обстоятельствахъ является невыгоднымъ съ экономической точки зрѣнія; по большей части даже правильнѣе заранѣе такъ устраивать установки, дѣйствующія водяной силой, чтобы онѣ въ теченіи большей части года могли работать навѣрное при полной нагрузкѣ, и недостатокъ энергіи, а также въ особенности временный усиленный спросъ на энергію покрывать паровыми машинами. Съ другой стороны не слѣдуетъ не придавать значенія и мало цѣнить большое значеніе пользованія водяными силами съ технической и экономической точекъ зрѣнія. Уже малыя и среднія установки, дѣйствующія водой, будутъ ли онѣ съ вододѣйствующими колесами или съ тюрбинами, имѣютъ нѣкоторое экономическое значеніе для мельницъ, лѣсопильныхъ заводовъ, для обработки бумажной массы, въ особенности въ удаленныхъ отъ промышленныхъ центровъ мѣстностяхъ безъ хорошаго желѣзнодорожнаго сообщенія, напр. въ горныхъ мѣстностяхъ, богатыхъ лѣсомъ, гдѣ онѣ могутъ быть предпочтены паровымъ машинамъ вслѣдствіе слишкомъ высокой цѣнности въ такихъ мѣстахъ угля. Точно также въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно экономично пользоваться водяными силами для снабженія энергіею большихъ фабрикъ, для обслуживанія многихъ фабрикъ или цѣлаго фабричнаго района механическою рабочею силою, пользуясь различными способами передачи и распредѣленія силы; не слѣдуетъ только заранѣе считать всякую большую водяную силу пригодною для наиболѣе экономичнаго полученія энергіи. Здѣсь не можетъ быть высказано никакого общаго положенія; скорѣе въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ слѣдуетъ руководствоваться особыми обстоятельствами. Первое условіе для успѣха большой установки, дѣйствующей водой, естественно заключается въ томъ, чтобы вся получаемая энергія была навѣрное и экономично потребляема, т.-е. чтобы существовалъ спросъ на энергію для промышленныхъ цѣлей или чтобы можно было ожидать съ увѣренностью, что при благопріятныхъ условіяхъ въ данномъ районѣ въ скоромъ времени разовьется новая отрасль промышленности благодаря существованію установки, дѣйствующей водяною силою, и предложенію механической энергіи; основываясь на такихъ предположеніяхъ, была проектирована и устроена грандіозная установка при Рейнфельденѣ, о которой будетъ сказано далѣе. Положеніе установки, дѣйствующей водяной силой, величины напора и количества воды, точно также и колебанія уровня послѣдней должны быть таковы, чтобы полученіе энергіи не представляло большихъ затрудненій въ техническомъ отношеніи и чтобы такимъ образомъ расходы на устройство не были чрезмѣрно велики, а также, чтобы количество воды навѣрное было всегда достаточнымъ для работы установки по крайней мѣрѣ съ приблизительно полной нагрузкой. Наконецъ, рѣшающее значеніе имѣетъ относительная стоимость водяной и паровой силы, т.-е. главнымъ образомъ цѣнность угля въ данномъ мѣстѣ.

Нѣкоторые примѣры пользованія водяными силами уже были приведены

ранѣе; далѣе будутъ описаны нѣкоторыя значительныя по размѣрамъ и особенно интересныя установки.

Уже съ давняго времени громадныя, почти неисчерпаемыя, силы Рейна, въ особенности въ его верхнемъ теченіи до того мѣста, гдѣ онъ подъ Базелемъ принимаетъ сѣверное направленіе, привлекали вниманіе техниковъ и промышленниковъ. Главнымъ образомъ было обращено вниманіе на водяныя силы Рейна отъ Рейхенау до Базеля. Условія паденія воды въ верхнемъ участкѣ до впаденія въ Боденское озеро очень благопріятны и ими отчасти уже пользовались для мелкихъ заводовъ, но количество воды тамъ слишкомъ мало и подвержено сильнымъ колебаніямъ. Для большихъ установокъ заслуживаетъ вниманія главнымъ образомъ участокъ, начиная съ Шаффгаузена.

Шаффгаузенъ имѣетъ одну изъ самыхъ большихъ установокъ, дѣйствующихъ водою, которая стала образцомъ для многихъ другихъ позднѣйшихъ установокъ. Установка приводится въ дѣйствіе паденіемъ воды на порогахъ, лежащихъ выше ранѣе упомянутой большой аллюминіевой фабрики въ Нейгаузенѣ при Рейнскомъ водопадѣ въ Шаффгаузенѣ. Шаффгаузенъ до конца пятидесятыхъ годовъ обладалъ очень незначительно развитой промышленностью и въ немъ не было ни одной большой фабрики. До 1851 г. тамъ въ качествѣ двигателей служило незначительное число низобойныхъ вододѣйствующихъ колесъ, установленныхъ на двухъ каналахъ, изъ которыхъ нѣкоторыя сохранились и до сихъ поръ. Колеса эти не удовлетворяли уже спроса и зимою 1857—58 г. вслѣдствіе низкаго уровня воды всѣ мелкія фабрики и ремесленныя производства, зависящія отъ этихъ колесъ и лежащія вдоль каналовъ, могли работать только съ сильно уменьшеннымъ производствомъ; нѣкоторыя же изъ нихъ должны были совсѣмъ прекратить работу. Въ непосредственной близости находился могущественный источникъ силы — пороги Рейна, лежащіе выше водопада: на незначительномъ протяженіи можно было получить значительный напоръ; количество воды въ Рейнѣ здѣсь уже достаточно велико и исключено значительное ея уменьшеніе въ сухія времена года, такъ какъ значительный запасной бассейнъ, въ видѣ лежащаго всего въ нѣсколькихъ миляхъ Боденскаго озера, обезпечиваетъ достаточное количество воды безъ значительнаго пониженія ея уровня. Здѣсь возможно было получить тысячи лошадиныхъ силъ, конечно, по затратѣ значительныхъ денежныхъ средствъ. Вслѣдствіе вышеупомянутой необходимости многіе дальновидящіе граждане Шаффгаузена задались мыслью утилизировать эти силы и передать ихъ въ Шаффгаузенъ; это было очень смѣлое предпріятіе, такъ какъ въ то время не были извѣстны большія передачи силъ на такое разстояніе.

Заслуга въ устройствѣ грандіознаго сооруженія, при выполненіи котораго пришлось преодолѣть много затрудненій, принадлежитъ главнымъ образомъ простому шаффгаузенскому гражданину, часовщику Генриху Мозеру; онъ самъ разработалъ планъ гидротехническихъ сооруженій и самъ руководилъ ихъ выполненіемъ.

Поперекъ Рейна была устроена плотина, служившая для запруды воды; на лѣвомъ берегу Рейна было устроено въ руслѣ рѣки зданіе для тюрбинъ, въ которомъ были помѣщены три большія тюрбины, каждая на 200—250 лошадиныхъ силъ. Для полученія возможно низкаго уровня нижней воды, былъ проведенъ отъ тюрбиннаго зданія каналъ, простирающійся до нижней воды, такъ что возможно было пользоваться полною высотою паденія воды отъ тюрбиннаго зданія до уровня нижней воды. Изъ получаемой въ тюрбинномъ зданіи энергіи часть, около 200 лошадиныхъ силъ, прямо передается при помощи валы близъ лежащимъ на лѣвомъ берегу Рейна фабрикамъ; остальная энергія при помощи двухъ канатныхъ проволочныхъ передачъ проведена черезъ Рейнъ въ Шаффгаузенъ, гдѣ и распредѣлена по городу при посредствѣ

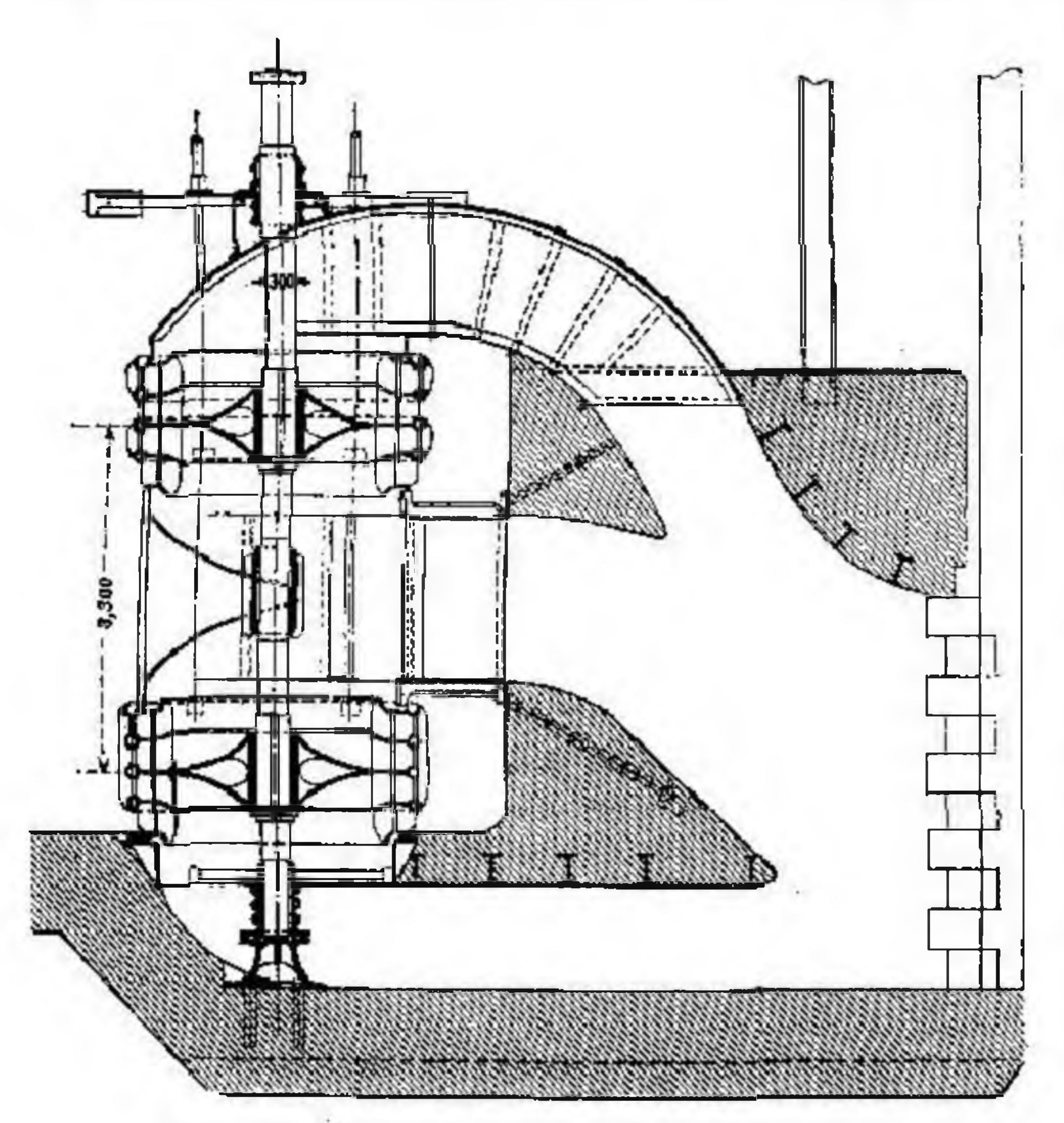
многочисленныхъ станцій. Это старое устройство находится въ дѣйствіи теперь уже свыше 30 лѣтъ и благодаря ему Шаффгаузенъ изъ тихаго провинціальнаго городка выросъ въ значительный промышленный центръ. Хотя непосредственный финансовый успѣхъ предпріятія съ перваго взгляда и не особенно блестящъ, такъ какъ въ первые годы не было получено никакого, а въ послѣдующіе годы только умѣренный доходъ; тѣмъ не менѣе, если принять во вниманіе то развитіе, которое получилъ городъ, благодаря этой установкѣ, то слѣдуетъ признать это предпріятіе идущимъ прекрасно.

Въ 1891 г. ниже стараго тюрбиннаго зданія была заложена обществомъ, эксплоатирующимъ старую установку, новая, большая установка, для расширенія уже имѣвшейся, съ 5 тюрбинами, каждая на 300 лошадиныхъ силъ; двѣ изъ нихъ построены по системѣ Жонваля фирмой І. І. Ритеръ въ Винтертурѣ; вслѣдствіе перемѣннаго уровня воды въ различныя времена года, онѣ сконструированы какъ тюрбины съ двумя вѣнцами, съ діаметромъ колесъ внѣшнимъ въ 3,40 м. и внутреннимъ въ 1,80 м., изъ которыхъ при низкомъ уровнѣ воды работаетъ только внѣшній вѣнецъ, при высокомъ оба. Тюрбины работаютъ съ всасывающими трубами при 46 оборотахъ въ минуту. Онѣ приводятъ въ движеніе двѣ динамомашины, при посредствѣ которыхъ передаютъ при помощи тока напряженіемъ въ 630 вольтъ, 565 лошадиныхъ силъ на шерстепрядильную фабрику въ Шаффгаузенъ, удаленную отъ тюрбиннаго зданія на 740 м., и приводившуюся прежде въ дѣйствіе канатной передачей. Другія три тюрбины совершенно подобнаго же устройства, на ту же силу и на то же число оборотовъ. Двѣ изъ нихъ работаютъ на динамомашины новаго, непосредственно у тюрбиннаго зданія выстроеннаго, алюминіеваго завода, ранѣе уже упомянутаго Aluminiumindustrie-Aktiengesellschaft въ Нейгаузенѣ,

Значительно болѣе грандіозная установка для пользованія водяной силой Рейна устраивается съ лѣта 1895 г. при порогахъ у Рейнфельдена. Здѣсь, послѣ впаденія обильнаго водой Аара, Рейнъ имѣетъ уже значительно большее количество воды, которое въ среднемъ доходитъ до 350 куб. м. въ секунду, и притомъ это количество воды достаточно постоянно. Рейнфельденъ лежитъ около 15 км. къ востоку отъ Базеля, на лѣвой сторонѣ Рейна, представляющаго собою на этомъ участкѣ границу между Баденомъ и Швейцаріей. Условія для устройства установки въ большихъ размѣрахъ здѣсь чрезвычайно благопріятны. Къ указанному значительному количеству воды присоединяется значительное ея паденіе, достигающее на трехъ порогахъ на протяженіи около $2^1/_2$ км. до $6^1/_2$—7 м. Мысль о пользованіи этой водяной силой для промышленныхъ цѣлей появилась уже съ конца восьмидесятыхъ годовъ, и въ началѣ не имѣлось въ виду примѣнять для этой цѣли электрической энергіи. Впослѣдствіи въ этомъ дѣлѣ приняла близкое участіе большая швейцарская фирма Эрликонъ; явилась мысль устроить здѣсь большую установку для электрической передачи работы и въ 1889 г. эта фирма, вмѣстѣ съ фирмами Эшеръ, Виссъ и К° въ Цюрихѣ, Цшокке и К° въ Аарау и Всеобщей Компаніей Электричества въ Германіи образовала общество для дальнѣйшаго веденія этого большого предпріятія. Былъ разработанъ планъ его и получена концессія отъ швейцарскаго и баденскаго правительствъ. Но финансированіе предпріятія встрѣтило большія затрудненія. Наконецъ, Всеобщей Компаніи Электричества удалось образовать въ 1894 г. нѣмецкое общество для составленія требуемаго капитала и по преодолѣніи послѣднихъ затрудненій съ концессіей явилась возможность въ апрѣлѣ 1895 г. приступить къ производству работъ.

Поперекъ теченія Рейна будетъ выстроена запруда съ протокомъ въ 20 м. шириною, дно котораго лежитъ на 1,35 м. ниже верха запруды и который постоянно остается открытымъ для сплава и для спуска въ Рейнъ условленнаго, согласно концессіи, количества воды въ 50 куб. м. при самомъ низкомъ стояніи

воды. Ширина гребня запруды достигаетъ 2 м.; запруда построена на естественномъ твердомъ грунтѣ изъ бетона или бута. Къ ней примыкаетъ стѣна канала верхняго плеса; каналъ, шириною въ 50 м., идетъ вдоль теченія къ расположенному на правой сторонѣ Рейна тюрбинному зданію и оканчивается пятью затворами и шлюзомъ. Зданіе для двигателей состоитъ изъ 20 отдѣльныхъ камеръ, каждая на одну тюрбину; всѣ тюрбины будутъ установлены съ самаго начала. Примѣнены будутъ тюрбины Франциса, т.-е. тюрбины, дѣйствующія давленіемъ съ внѣшнимъ притокомъ воды по радіусамъ, построенныя по типу тюрбинъ полнаго дѣйствія фирмой Эшеръ, Виссъ и К°; тюрбины дѣлаютъ частью 55, частью 68 оборотовъ въ минуту и развиваютъ при полномъ притокѣ воды 840 лошадиныхъ силъ. Особеннымъ затрудненіемъ при ихъ конструированіи явилось то обстоятельство, что напоръ, точно также какъ и количество воды очень перемѣнны, причемъ при высокой водѣ уровень нижней воды поднимается, такъ что напоръ уменьшается въ $2^1/_2$—3 м., тогда какъ во время низкой воды напоръ доходитъ до 5 м.; количество воды колеблется при этомъ отъ 25 до 17 куб. м. въ секунду. Тюрбины снабжены двумя одинаковыми колесами, діаметромъ въ 2350 мм. и въ 1240 мм. высотою; каждое изъ колесъ имѣетъ по четыре одинъ надъ другимъ лежащихъ



841. Тюрбина на установкѣ въ Рейнфельденѣ.

вѣнца, изъ нихъ: изъ двухъ вода вытекаетъ вверхъ, изъ другихъ двухъ внизъ. Рис. 841 представляетъ вертикальный разрѣзъ этой большой тюрбины. Изъ рисунка видно, какъ протекаетъ вода изъ обоихъ нижнихъ и обоихъ верхнихъ вѣнцовъ соотвѣтственно внизъ и вверхъ и изъ четырехъ среднихъ, двухъ верхнихъ нижняго колеса и двухъ нижнихъ верхняго колеса, вода направляется изъ середины въ общій сточный каналъ. Для регулированія служитъ управляемый въ-ручную кольцевой затворъ, точно также какъ и самодѣйствующее гидравлическое приспособленіе. Регулированіе устроено такъ, что при большомъ напорѣ работаетъ только нижняя тюрбина, т.-е. только черезъ нее протекаетъ рабочая вода; если количество воды будетъ больше, что связано, какъ упомянуто выше, съ уменьшеніемъ напора, то открываются сперва оба нижніе вѣнца верхней тюрбины и при дальнѣйшемъ уменьшеніи напора также и оба верхніе вѣнца верхней тюрбины, такъ что при наибольшемъ количествѣ воды рабочая вода проходитъ черезъ всѣ восемь вѣнцовъ. Колеса тюрбинъ насажены на стальной валъ, соединенный при помощи передаточнаго вала непосредственно съ динамомашинами; по-

слѣдніе расположены такимъ образомъ горизонтально и дѣлаютъ 55 или 68 оборотовъ въ минуту.

Особенно подробному изученію былъ подвергнутъ выборъ системы тока и распредѣленія для получаемой при помощи водяной силы электрической энергіи; при проектированіи всего сооруженія съ самаго начала имѣлось въ виду, что энергія будетъ распредѣлена между большими и малыми потребителями внутри нѣкотораго района, приблизительно на 20 км. кругомъ Рейнфельдена. Вслѣдствіе этого значительное количество электрической энергіи должно было быть распредѣлено на значительное разстояніе при помощи раціонально устроенной сѣти проводовъ съ возможно меньшими потерями; энергія должна служить какъ для освѣщенія, такъ, главнымъ образомъ, и для движенія и для электрохимическихъ цѣлей; электрохимическія производства предполагалось сосредоточить въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ тюрбиннымъ зданіемъ; при этомъ должна быть обезпечена полная независимость другъ отъ друга отдѣльныхъ мѣстъ потребленія. По принятіи во вниманіе всѣхъ этихъ требованій были выбраны для освѣщенія и для движенія многофазная система или трехфазная, для электрохимическихъ цѣлей постоянный токъ низкаго напряженія, необходимый для подобныхъ производствъ. Изъ 20 тюрбинъ 10 служатъ для приведенія въ дѣйствіе трехфазныхъ альтернаторовъ съ напряженіемъ въ 6800 вольтъ; каждый альтернаторъ развиваетъ при 840 лошадиныхъ силахъ 580 киловаттъ, при отдачѣ до 92%. Другія 10 тюрбинъ соединены непосредственно съ динамомашинами постояннаго тока, подобной же мощности, доставляющими токъ напряженіемъ въ 90 и 130 вольтъ. Установка въ среднемъ доставляетъ 15 000 эффективныхъ лошадиныхъ силъ; при неблагопріятномъ уровнѣ воды это число спускается до 12 000 лошадиныхъ силъ. Такимъ образомъ изъ 20 альтернаторовъ могутъ поддерживаться въ постоянномъ дѣйствіи 18, два же остаются въ запасѣ. Токъ при первоначальномъ напряженіи, т.-е. въ 800 вольтъ проводится питательными проводами на далекое разстояніе. Для этой цѣли примѣнены кабели съ толстой желѣзной броней, снабженные свинцовой оболочкой, подводящіе токъ къ девяти питательнымъ пунктамъ. Отсюда токъ поступаетъ въ распредѣлительную сѣть высокаго напряженія, состоящую изъ надземныхъ мѣдныхъ проводовъ, по которымъ токъ подводится съ указаннымъ выше напряженіемъ, сперва къ трансформаторнымъ станціямъ, распредѣленнымъ, по возможности, въ центрахъ тяжести отдѣльныхъ потребительныхъ районовъ. Здѣсь токъ трансформируется въ токъ съ болѣе низкимъ напряженіемъ (съ рабочимъ напряженіемъ) и отсюда идетъ во вторичную распредѣлительную сѣть при 220 вольтахъ для освѣщенія и 500 вольтъ для цѣлей движенія. Для дальнѣйшаго возможнаго расширенія всего сооруженія сверхъ проектированнаго къ выполненію теперь имѣется въ виду воспользоваться вторымъ, не включеннымъ при настоящемъ устройствѣ, паденіемъ Рейна въ 2,5 м. на протяженіи отъ зданія для двигателей теперешней установки до Рейнскаго моста при Рейнфельденѣ, которое можетъ доставить еще до 7000 лошадиныхъ силъ. Установку предполагалось привести въ дѣйствіе въ 1898 году.

Устройства при Рейнфельденѣ представляютъ произведенія инженернаго искусства въ области пользованія водяными силами, подобныя которымъ по грандіозности и величественности могутъ сравняться только сооруженія при Ніагарѣ въ Сѣверной Америкѣ. Можно надѣяться на самый блестящій экономическій успѣхъ всего предпріятія.

Если теперь промышленность бассейна верхняго Рейна влачитъ тихое существованіе, такъ какъ тамъ не достаетъ современнаго главнаго жизненнаго нерва — угля, то вскорѣ вблизи Рейнфельдена, какъ естественнаго центра, она будетъ вовлечена въ оживленное развитіе міровой промышлен-

ности. На мѣсто угля выступаетъ современный элементъ силы, электричество, которое дастъ новой промышленности свѣжія силы.

Одними изъ значительнѣйшихъ новыхъ сооруженій для пользованія водяными силами являются еще электрическія установки въ Тиволи близъ Рима. У Тиволи, въ римской Кампаньѣ, уже съ древнихъ временъ извѣстномъ по своей природной красотѣ, въ 28 км. отъ Рима находится много, какъ красивыхъ, такъ и могущественныхъ водопадовъ, которые уже съ давнихъ временъ служатъ въ видѣ источниковъ энергіи для отдѣльныхъ небольшихъ промышленныхъ предпріятій и которые съ 1887 г. приводятъ въ дѣйствіе электрическую станцію города Тиволи. Здѣсь были возведены обществомъ „Società per le forze idrauliche ad usi industriali“ устройства для пользованія въ большихъ размѣрахъ водяными силами. Общество, однако, не привело въ исполненіе своего дальнѣйшаго проекта по снабженію города Рима электрической энергіей для цѣлей освѣщенія и движенія. Впервые выполнить это удалось обществу электрическаго освѣщенія города Рима. Установка была выполнена акціонернымъ обществомъ Ганцъ и К° въ Будапештѣ, одной изъ самыхъ большихъ европейскихъ фирмъ по машиностроенію и спеціально по электротехническому машиностроенію. Установка пользуется только половиной имѣющейся водяной силы; вся же водяная сила соотвѣтствуетъ количеству воды въ 375 куб. м. въ секунду при высотѣ паденія въ 110 м.; изъ нихъ верхніе 10 метровъ употреблены для другой цѣли. Вода по каналу, расположенному по древне-римскому віадуку, проведена въ башню, въ которой установлена высокая вертикальная труба въ 1,60 м. діаметромъ. Отъ нижняго конца ея вода проведена по трубамъ къ машинному зданію. Здѣсь установлены три группы тюрбинъ, каждая изъ двухъ большихъ тюрбинъ въ 330 лошадиныхъ силъ и одной въ 50 лошадиныхъ силъ, такъ что всѣ тюрбины вмѣстѣ развиваютъ до 2040 лошадиныхъ силъ. На установки примѣнены партіальныя тюрбины Жирарда постройки фирмы Ганцъ и К°. Большія имѣютъ шесть впусковъ и поворотный затворъ, малыя одинъ впускъ и впускной клапанъ; первыя дѣлаютъ 170, послѣднія 375 оборотовъ въ минуту. Каждая тюрбина снабжена самодѣйствующимъ регуляторомъ системы Ганца и К°, дающимъ возможность регулированіемъ притока воды поддерживать постоянною скорость вращенія съ такою же точностью, какъ и при паровыхъ машинахъ. Вода стекаетъ у всѣхъ тюрбинъ подъ землею. Каждая изъ шести большихъ тюрбинъ приводитъ въ дѣйствіе непосредственно соединенныя съ главнымъ валомъ динамомашины перемѣннаго тока (альтернаторы) мощностью въ 200 000 ваттъ при 5100 вольтъ напряженія; малыя тюрбины служатъ для приведенія въ движеніе динамомашинъ постояннаго тока, служащаго для возбужденія альтернаторовъ.

Изъ нѣмецкихъ установокъ достойна вниманія установка въ Лауффенѣ на Неккарѣ. При урегулированіи теченія верхняго Неккара въ 1885—1888 г.г. была устроена установка, давшая возможность пользоваться существующимъ при Лауффенѣ большимъ паденіемъ; цѣлью ея устройства было желаніе покрыть нѣкоторымъ образомъ большія затраты при урегулированіи Неккара. Имѣющееся въ распоряженіи количество воды въ среднемъ достигаетъ 40 куб. м. въ секунду при 3 м. паденія. Имъ пользуются при помощи 5 тюрбинъ, изъ которыхъ каждая въ 300 лошадиныхъ силъ; тюрбины на установкѣ сложныя (комбинированныя) построены машинной фабрикой Гейслингенъ при Гейслингенѣ; внѣшнее тюрбинное колесо устроено въ видѣ реакціонной тюрбины системы Жонваля, внутреннее въ видѣ акціонной. Каждое изъ обоихъ колесъ работаетъ при половинномъ количествѣ рабочей воды и развиваетъ 150 лошадиныхъ силъ; внутренняя тюрбина снабжена регулировочнымъ затворомъ, при помощи котораго расходъ воды можетъ быть устанавливаемъ на 0—4000 литровъ, смотря по временному спросу или по имѣющемуся въ распоряженіи количеству воды; такимъ образомъ всѣ пять тюрбинъ могутъ работать, начиная съ расхода половиннаго количества воды до

нормальнаго, т. е. при 20—40 куб. м. въ секунду. Тюрбины снабжаютъ энергіей цементную фабрику; одна изъ тюрбинъ работаетъ на динамомашинѣ съ цѣлью передачи энергіи и для освѣщенія сосѣдняго города Гейльбронна; одна малая тюрбина служитъ для электрическаго освѣщенія фабрики и города Лауффенъ. Служащая теперь для работы на освѣщеніе большая машина служила во время электротехнической выставки въ Франкфуртѣ 1891 года первичной машиной для извѣстной грандіозной установки по передачѣ силы на 180 км. изъ Лауффена въ Франкфуртъ.

Для того, чтобы дать приблизительное понятіе о чрезвычайно большой величинѣ естественныхъ водяныхъ силъ, можно еще вкратцѣ привести числовыя данныя нѣкоторыхъ изысканій.

По даннымъ проф. Reuleaux рабочая сила Рейна отъ Боденскаго озера до моря достигаетъ въ круглыхъ числахъ до 600 000 лошадиныхъ силъ. Водяная сила Ніагары на короткомъ участкѣ быстраго теченія и большого паденія равна около $12^1/_2$ милліоновъ лошадиныхъ силъ; это паденіе заключаетъ въ себѣ такой запасъ энергіи, что онъ равняется приблизительно половинѣ всѣхъ паровыхъ машинъ свѣта. Насколько велики природныя водяныя силы Швейцаріи, показываетъ докладъ швейцарскаго инженера Лаутербурга; въ общемъ тамъ имѣется 854 потока съ $4^1/_2$ милліонами лошадиныхъ силъ (приблизительно); изъ нихъ по техническимъ условіямъ примѣнимы для полученія энергіи около 620 000 лошадиныхъ силъ; отъ нихъ за вычетомъ 50% потерь въ тюрбинахъ и на передачахъ могутъ быть получены для пользованія около 300 000 лошадиныхъ силъ.

Сѣверная Америка, не считая Ніагарскаго водопада, обладаетъ чрезвычайно большимъ числомъ и могущественными водяными силами, частью которыхъ уже пользуются въ большихъ размѣрахъ для промышленныхъ цѣлей. По оффиціальнымъ даннымъ и свѣдѣніямъ, относящимся къ 1880 г., общая мощность водяныхъ силъ въ Соединенныхъ Штатахъ близко достигаетъ 200 милліоновъ лошадиныхъ силъ. Въ указанномъ году изъ приведеннаго числа были утилизированы, при помощи 55 400 гидравлическихъ двигателей, 1 225 400 лошадиныхъ силъ; это соотвѣтствуетъ только 0,6% всей имѣющейся въ распоряженіи въ Америкѣ водяной силы, и около 36% общей механической работы, производимой машинами въ Соединенныхъ Штатахъ. Особенно грандіозны водяныя установки при Миннеаполисѣ, одномъ изъ городовъ Соединенныхъ Штатовъ, обладающемъ самыми значительными мельничными установками, гдѣ появленіе ихъ и само ихъ существованіе обязаны возможности пользоваться водяной силой рѣки Миссисипи. Рѣка эта доставляетъ непосредственно небольшимъ мельницамъ и лѣсопилкамъ, расположеннымъ по обѣимъ сторонамъ водопада св. Антонія, а точно также, при помощи большихъ искусственныхъ каналовъ для подвода воды къ лежащимъ вдали заводамъ и отводныхъ отъ нихъ каналовъ, около 18 000 лошадиныхъ силъ. Подобнымъ же образомъ пользуются водяными силами во многихъ мѣстахъ рѣки Мерримакъ, распредѣляя рабочую воду и пользуясь ея напоромъ; такъ въ Ловеллѣ получается около 10 000, въ Манчестерѣ около 17 000 и въ Лавренсѣ около 10 000 лошадиныхъ силъ. Весьма большая и грандіозная установка, дѣйствующая водяною силою, существуетъ также въ Голіоке, гдѣ около 60 заводовъ обслуживаются 21 000 лошадиными силами, получаемыми отъ рѣки Коннектикутъ.

Паровыя машины и паровые котлы, локомобили, паровыя тюрбины и машины, дѣйствующія парами нефти.

Историческое и техническое развитіе паровыхъ машинъ.

Введеніе. Предшественники паровыхъ машинъ. Начало дѣйствительнаго развитія паровыхъ машинъ. Первая поршневая паровая машина Папина. Паровой насосъ Савери. Атмосферическая паровая машина Ньюкомена. Джемсъ Ваттъ. Изобрѣтеніе конденсатора (холодильника) и паровыя машины двойного дѣйствія. Машина Вульфа. Дальнѣйшія усовершенствованія. Машины компаундъ. Введеніе паровыхъ машинъ въ Германіи. Развитіе ихъ въ новѣйшее время.

Въ стремленіи человѣка получить полезную механическую рабочую силу большое значеніе имѣло изобрѣтеніе **паровыхъ машинъ** и приданіе имъ вида, благодаря которому онѣ стали примѣнимы на практикѣ. Вліяніе паровыхъ машинъ на промышленность громадное; только благодаря имъ стало возможнымъ чрезвычайно большое развитіе промышленности послѣднихъ ста лѣтъ; можно даже сказать, что настоящая промышленность, въ общемъ значеніи этого слова, впервые была создана паровыми машинами. При посредствѣ паровой силы мы добываемъ изъ земли ея богатства, придаемъ расплавленному металлу безконечно разнообразныя формы. Паръ добываетъ матеріалъ; онъ же выдѣлываетъ изъ него большинство нашихъ инструментовъ и орудій для работы; паръ строитъ паровыя суда, локомотивы и желѣзнодорожные вагоны, точно также и ихъ желѣзный рельсовый путь, и даетъ имъ, мертвымъ по рожденіи, жизнь — двигательную силу; онъ же превращаетъ зерно въ хлѣбъ, который мы ѣдимъ, прядетъ и ткетъ наши одежды изъ шерсти и хлопчатой бумаги. Тысячи колесъ изъ года въ годъ приводятся въ движеніе паромъ; каждое изъ нихъ обладаетъ при своемъ движеніи такою силою, что въ состояніи однимъ ударомъ раздробить человѣка, и, однако, эта громадная сила такъ порабощена и такъ управляется, что однимъ поворотомъ клапана даже рука ребенка въ состояніи остановить ея дѣйствіе. Какъ благодаря изобрѣтенію книгопечатанія стало возможнымъ успѣшно бороться съ невѣжествомъ и суевѣріемъ и перенести блага просвѣщенія и знанія изъ узкаго круга ученыхъ въ широкія народныя массы, точно также благодаря изобрѣтенію паровыхъ машинъ явилась возможность преодолѣть такія препятствія, которыя представлялись ранѣе непреодолимыми вслѣдствіе недостатка въ большихъ механическихъ силахъ.

Разсматривая паровую машину въ дѣйствіи, мы видимъ, что поршневые стержни плавно, равномѣрно и въ тактъ двигаются назадъ и впередъ и вращаютъ кривошипъ; маховое колесо вращается вмѣстѣ съ нимъ и, повидимому, не выполняетъ никакой работы. Всѣ передачи получаютъ свое движеніе отъ главнаго вала; сила передается при помощи колесъ и зубчатыхъ передачъ, ремней и валовъ и распредѣляется повсюду, гдѣ она требуется, часто на большія разстоянія въ сосѣднія зданія. Если мы спросимъ, на сколько силъ работаютъ машины, то въ отвѣтъ мы услышимъ, на малыхъ фабрикахъ въ 10, 20, 30, на большихъ заводахъ или локомотивахъ — сотня или нѣсколько сотенъ, на судовыхъ машинахъ большихъ современныхъ быстроходныхъ пароходовъ или на военныхъ судахъ даже десятки тысячъ лошадиныхъ силъ! И эти громадныя, едва мыслимыя силы, повидимому, самымъ простымъ способомъ получаются изъ двухъ матеріаловъ — угля и воды. Вода превращается въ паръ и паръ производитъ давленіе на поршень; и этимъ простымъ способомъ оказалось возможнымъ получить такія громадныя силы! Однако, какъ увидимъ далѣе, не такъ было легко найти этотъ простой способъ; потребовалось двѣ тысячи лѣтъ работы человѣческой мысли, прежде чѣмъ удалось достигнуть того, чтобы тепловая энергія, при

посредствѣ испаренія воды, могла превращаться въ полезную механическую работу.

Среди большинства объ изобрѣтеніи самаго важнаго изъ двигателей распространено ошибочное мнѣніе. Часто можно слышать, что паровая машина изобрѣтена въ 1769 г. Джемсомъ Ваттомъ; однако, это не совсѣмъ вѣрно. Какъ большинство наиболѣе важныхъ изобрѣтеній, изобрѣтеніе паровой машины никоимъ образомъ не можетъ быть приписано одному лицу; оно не явилось вполнѣ законченнымъ, благодаря генію одного выдающагося лица. Изобрѣтенія, наоборотъ, совершаются постепенно. Нѣсколько лѣтъ тому назадъ выдающійся нѣмецкій спеціалистъ проф. Reuleaux въ своей статьѣ „Краткая исторія паровой машины“ прослѣдилъ развитіе изобрѣтенія ея до самаго древняго времени и доказалъ, что изобрѣтеніе паровыхъ машинъ никоимъ образомъ не принадлежитъ одному или нѣсколькимъ англичанамъ, съ чѣмъ охотно согласились бы англичане; необходима была общая работа итальянцевъ, французовъ, нѣмцевъ и англичанъ, чтобы дойти до машины Ватта. Ваттъ свою работу обосновалъ на работахъ другихъ, которые впослѣдствіи были забыты; заслуги его этимъ, однако, не уменьшаются, такъ какъ ему одному принадлежитъ честь такого устройства паровой машины, что она стала практически примѣнимой и послужила образцомъ для дальнѣйшихъ позднѣйшихъ ея усовершенствованій.

Послѣдующее изложеніе и рисунки заимствованы отчасти изъ вышеупомянутой статьи проф. Reuleaux.

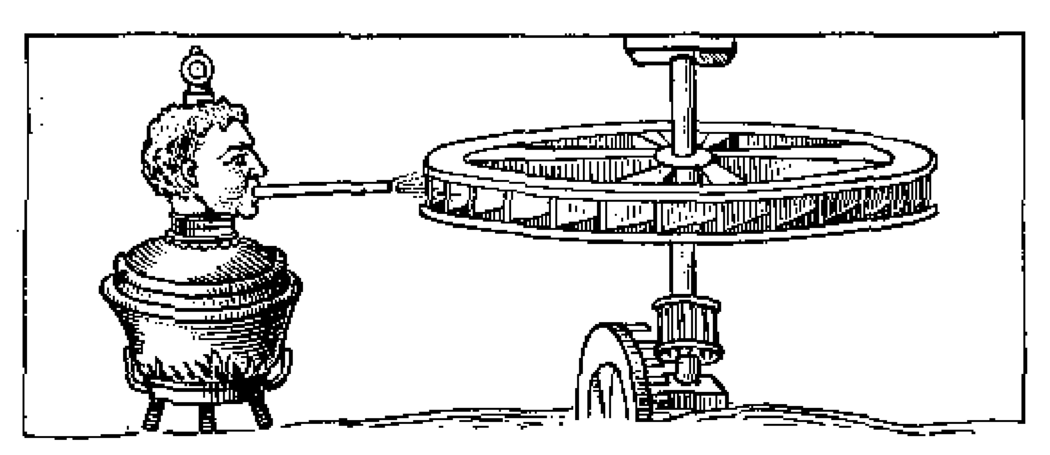
Паровыя машины основаны на работоспособности водяного пара; эту рабочую силу мы можемъ наблюдать въ повседневной жизни при кипѣніи воды въ котелкѣ; живая легенда, любящая, не принимая во вниманіе исторической правды, окружать всѣ наиболѣе важныя событія и изобрѣтенія ореоломъ символическихъ преданій, связала изобрѣтеніе Ватта съ наблюденіемъ надъ котелкомъ съ водою. Разсказываютъ, что Ваттъ первую мысль о своемъ изобрѣтеніи получилъ, наблюдая каждому извѣстный фактъ, что крышка подобнаго котла періодически приподнимается образующимся въ немъ водянымъ паромъ. Это дѣйствіе силы водяного пара безъ сомнѣнія было извѣстно уже въ самыя древнія времена и уже значительно ранѣе стремились примѣнить эту силу для нѣкоторыхъ цѣлей. Древнѣйшее ея примѣненіе приписываютъ Архимеду, изобрѣтшему паровую пушку, изъ жерла которой ядро выкидывалось давленіемъ водяного пара; однако, свѣдѣнія объ этомъ изобрѣтеніи не внушаютъ большого довѣрія. Изъ дошедшихъ до насъ трехъ книгъ Герона Александрійскаго „О воздушномъ“ видно, что въ древности уже обладали нѣкоторыми свѣдѣніями объ упругости водяного пара. Въ нихъ, напр., описаны механическія статуетки, приводимыя въ движеніе нагрѣтымъ воздухомъ или водянымъ паромъ. Болѣе извѣстенъ Героновъ вращающійся шаръ, полый металлическій шаръ, вращающійся на оси и снабженный двумя трубками, загнутыми въ одну и ту же сторону; при выходѣ изъ нихъ пара шаръ вращается въ направленіи противоположномъ выходу пара, подобно ранѣе описанному Сегнерову водяному колесу. Эти и подобные имъ приборы представляли изъ себя, однако, лишь игрушки; они не могутъ считаться предшественниками машинъ, пригодныхъ для практическаго примѣненія паровой силы для полученія работы. За таковую можно считать позднѣе изобрѣтенный приборъ, эоловъ шаръ, приписываемый Витрувію (около Р. Х.), представляющій изъ себя полый металлическій шаръ съ небольшимъ отверстіемъ, черезъ которое всасывается въ шаръ вода послѣ предварительнаго разрѣженія воздуха внутри шара нагрѣваніемъ, и изъ котораго при послѣдующемъ нагрѣваніи выходитъ водяной паръ. Эоловъ шаръ въ послѣдующее время и на всемъ протяженіи среднихъ вѣковъ оставался любимымъ украшеніемъ кабинета ученыхъ, любившихъ при-

водить дѣйствіе его въ доказательство того появленія силы, которымъ сопровождается въ природѣ каждое превращеніе одного элемента въ другой.

Въ теченіи почти двухъ тысячелѣтій, до 17 столѣтія, нельзя отмѣтить никакихъ успѣховъ въ пользованіи силою пара; о свойствахъ водяного пара тогда имѣли совершенно ложное представленіе, такъ какъ не оставляли составившагося у древнихъ представленія, что паръ представляетъ изъ себя воздухъ, *выдѣляющійся* изъ воды при посредствѣ огня.

Здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть нѣкоторыя имена, съ которыми рядомъ преданій связывалось изобрѣтеніе паровыхъ машинъ. По испанскимъ свѣдѣніямъ, еще въ 1532 году испанецъ, командиръ судна, Бласко де-Гарай построилъ *паровую машину и даже ею приводилъ* въ дѣйствіе судно. *Точное и безпристрастное* изученіе источниковъ испанскаго историка впослѣдствіи однако показало, что разсказъ этотъ не выдерживаетъ критики. Въ обрывкахъ рукописи, на которыхъ онъ основанъ, нѣтъ никакой рѣчи ни о паровой силѣ, ни о ея примѣненіи; Бласко де-Гарай только пытался заставить двигаться суда посредствомъ колесъ съ лопастями, приводимыхъ въ дѣйствіе людьми въ ручкую при помощи кривошипа (рукоятки).

Иванъ Бранка, извѣстный строитель церкви въ Лоретто, въ своей книгѣ „Машины“ (1629) заставляетъ паръ выходить изъ эолова шара на лопасти горизонтальнаго колеса (см. рис. 842) и послѣднимъ приводитъ въ дѣйствіе небольшую аптечную ступку. И здѣсь видно еще недостаточное знаніе свойствъ водянаго пара и въ основу положена ложная мысль превращенія воды въ вѣтеръ при посредствѣ теплоты. Французы особенно стремились приписать честь изобрѣтенія паровыхъ машинъ своей націи, и именно Саломону Каусу, съ именемъ котораго связаны еще и другія изобрѣтенія. По французскимъ свѣдѣніямъ, основаннымъ на казавшихся достовѣрными источникахъ и въ особенности на найденномъ подлинномъ письмѣ отъ 1641 г., онъ былъ будто какъ мученикъ за признанное безумнымъ изобрѣтеніе паровой машины, посаженъ Ришелье въ домъ умалишенныхъ. Эти свѣдѣнія у большинства возбудили громадный интересъ. Конечно оскорбленный, извѣстный, преслѣдуемый великій ученый долженъ быть возстановленъ въ своихъ заслугахъ признательнымъ потомствомъ; наука и искусство должны его прославить въ словахъ и картинахъ. И что же осталось отъ всей этой басни по спокойной документальной провѣркѣ историческихъ фактовъ? Документъ, выдававшійся за оригинальный, признанъ не подлиннымъ. Саломонъ Каусъ, родившійся въ 1576 году, спроектировалъ на службѣ въ Англіи у принца Валлійскаго рядъ фонтановъ для королевскихъ замковъ; позже онъ былъ придворнымъ садовникомъ у курфюрста Фридрика V Пфальцскаго, въ его резиденціи — Гейдельбергѣ. Онъ не былъ ни великимъ ученымъ, ни изобрѣтателемъ, ни мученикомъ, такъ какъ по достовѣрнымъ документамъ онъ непрерывно до 1626 г. оставался на службѣ у Людовика XIII и умеръ въ своемъ отечествѣ. Въ изданной имъ въ 1615 г. книгѣ: „О причинѣ движущихъ силъ“ кромѣ своей спеціальности, фонтановъ, онъ трактуетъ о физикѣ и механикѣ совсѣмъ въ духѣ ложной науки своего времени, не проявляя никакихъ новыхъ мыслей, а тѣмъ болѣе выдающихся. Нѣтъ никакой тамъ рѣчи о парѣ или о его примѣненіи для машинъ.



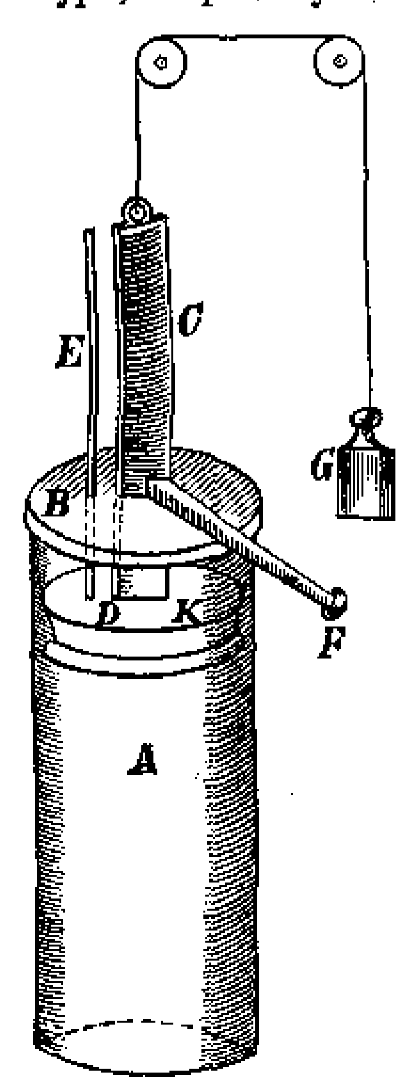
842. Паровое колесо Бранка.

Въ заключеніи слѣдуетъ упомянуть маркиза Ворчестеръ, которому англичанами приписывается изобрѣтеніе паровыхъ машинъ, и который въ этомъ отношеніи занимаетъ такое же мѣсто, какъ и Каусъ. Изложенный уже въ первомъ отдѣлѣ этого тома „удивительный и очень могучій способъ разложенія воды посредствомъ огня“, описываемый имъ въ претенціозной, но совершенно спутанной и неясной книгѣ объ его ста изобрѣтеніяхъ принимается за паровую машину. Въ дѣйствительности же это изобрѣтеніе не заключаетъ въ себѣ ничего, что могло бы давать намеки на мысль о паровой машинѣ; онъ даже не вводитъ понятія о водяномъ парѣ. Ворчестеръ, какъ и его современники принимаетъ паръ за воздухъ, выдѣляющійся изъ воды при посредствѣ огня.

Вѣрная основная мысль и вмѣстѣ съ тѣмъ дѣйствительная исторія паровыхъ машинъ начинается впервые съ появленіемъ настоящаго естествознанія въ концѣ 16 или 17 столѣтій. Только послѣ того, какъ проложившіе путь новому знанію такіе люди, какъ Галилей, Кеплеръ, Бэконъ, Торичелли, Герике потрясли въ ея основахъ старую схоластическую науку и открыли путь для дѣйствительнаго естествознанія, впервые могли развиться знаніе свойствъ и способа дѣйствія водянаго пара и вмѣстѣ съ тѣмъ основанія для устройства паровыхъ машинъ; изобрѣтеніе послѣднихъ шло постепенно съ развитіемъ научныхъ знаній, а не было результатомъ счастливаго случая. Послѣ открытія Торичелли давленія воздуха и послѣ полученія Отто-фонъ-Герике при помощи воздушнаго насоса безвоздушнаго пространства, были направлены вскорѣ усилія къ тому, чтобы воспользоваться силою давленія воздуха для совершенія механической работы. Пріемы Герике полученія безвоздушнаго пространства были не примѣнимы для практическихъ цѣлей, такъ какъ полученіе его требовало такой же, если еще не большей работы, чѣмъ та, которую затѣмъ могло произвести давленіе воздуха. Многочисленные опыты до конца 17-го столѣтія полученія безвоздушнаго пространства болѣе простымъ и легкимъ способомъ оставались безуспѣшными до тѣхъ поръ, пока Папинъ не нашелъ рѣшенія этого вопроса въ сгущеніи водяного пара въ воду.

Діонисій Папинъ, французъ, родился въ Блуа въ 1647 году. Первоначально онъ былъ врачемъ, но затѣмъ перешелъ къ изученію физическихъ наукъ и былъ нѣкоторое время помощникомъ великаго Гюйгенса въ Парижѣ; отсюда онъ переѣхалъ въ Англію, тамъ былъ сотрудникомъ Бойля и, благодаря большому числу выдающихся работъ по физикѣ, состоялъ членомъ королевскаго общества искусствъ и наукъ. Здѣсь онъ открылъ извѣстный, еще и теперь носящій его имя, Папиновъ котелъ. Котелъ этотъ представляетъ изъ себя толстый желѣзный сосудъ съ плотно привинчивающеюся крышкою. Развивающійся при кипѣніи воды паръ не выдѣляется; получается сильное давленіе пара и температура воды можетъ въ немъ значительно превышать обыкновенную температуру ея кипѣнія въ 100^0 Ц., совершенно также, какъ и въ паровомъ котлѣ. Въ немъ гораздо лучше можетъ увариться мясо для полученія бульона, чѣмъ въ обыкновенномъ или закрытомъ свободно лежащею легкою крышкою котлѣ. Въ 1687 году Папинъ былъ приглашенъ ландграфомъ гессенскимъ Карломъ на профессорскую каѳедру физики и математики въ Марбургѣ и здѣсь онъ занялся опытами полученія безвоздушнаго пространства. Онъ конструировалъ пороховую машину, въ которой поршень приводился въ движеніе въ цилиндрѣ сжиганіемъ пороха; однако ему не удалось достигнуть съ нею технически примѣнимаго результата. Онъ неутомимо размышлялъ о другихъ способахъ и ему наконецъ удалось достигнуть своей цѣли сгущеніемъ водяного пара охлажденіемъ; такъ какъ паръ занимаетъ пространство въ 1700 разъ большее, чѣмъ равное ему по вѣсу количество воды, то возможно получить значительное разрѣженіе въ замкнутомъ пространствѣ, наполненномъ парами воды по превращеніи пара въ немъ въ воду. Въ своемъ сочиненіи Папинъ пишетъ о своемъ открытіи: „такъ какъ получаемый при посредствѣ огня водяной паръ обладаетъ свойствомъ точно также, какъ и воздухъ, производить давленіе, но далѣе при охлажденіи онъ опять можетъ сгущаться въ воду, такъ что не остается никакого давленія, то я полагаю, что не трудно было бы конструировать машины, въ которыхъ силы водяного пара при посредствѣ огня съ небольшими издержками могли бы развивать полезную работу". Папинъ изложилъ свое открытіе въ изданной первоначально на латинскомъ языкѣ книгѣ: „Ars nova", „Новое искусство". Позднѣе онъ издалъ её и на нѣмецкомъ языкѣ подъ заглавіемъ „Neue Kunst, das Wasser mit Hilfe des

Feuers auf das Wirksamste zu heben"; въ немъ описана и изображена его машина. Онъ пользовался приспособленіемъ, изображеннымъ по рисункамъ Папина на рис. 848, которое можетъ быть разсматриваемо, какъ прототипъ первой настоящей поршневой паровой машины. Въ поломъ цилиндрѣ *A*, съ крышкой *B*, съ закрытымъ дномъ, двигается плотно входящій въ него поршень *K*, укрѣпленный на стержнѣ *C*; послѣдній плотно проходитъ черезъ крышку. Поршень въ *D* просверленъ и отверстіе закрывается стержнемъ *E*, свободно проходящимъ черезъ крышку. Въ цилиндрѣ *A* подъ поршнемъ помѣщается небольшое количество воды и подогрѣваніемъ *превращается въ паръ; поршень поднятъ вверхъ грузомъ G при посредствѣ* шнура, перекинутаго черезъ блокъ и при помощи засова *F* закрѣпленъ въ верхнемъ своемъ положеніи. Пары воды заполняютъ весь цилиндръ послѣ предварительнаго удаленія черезъ отверстіе *E* въ поршнѣ заключавшагося въ цилиндрѣ воздуха; затѣмъ отверстіе это закрывается стержнемъ *E* и огонь удаляется изъ подъ цилиндра. Послѣдній охлаждается и водяной паръ сгущается, такъ что въ цилиндрѣ получается безвоздушное пространство; если теперь удалить засовъ *F*, то внѣшнее атмосферное давленіе произведетъ давленіе на поршень сверху и грузъ *G* поднимется, причемъ будетъ произведена механическая работа. Здѣсь такимъ образомъ ясно уже выражена основная идея атмосферической паровой машины: въ противуположность прежнимъ взглядамъ здѣсь уже извѣстны свойства водяного пара, возможность *превращенія его снова въ воду и полученія вслѣдствіе* этого силы. Папинъ въ виду этого долженъ быть признанъ настоящимъ изобрѣтателемъ паровой машины. Онъ приводитъ въ своемъ описаніи различные возможные способы примѣненія своего изобрѣтенія, напр. для накачиванія воды, движенія судовъ противъ вѣтра, пользуясь колесами съ лопастями. По порученію ландграфа Карла Гессенскаго Папинъ устроилъ насосъ, который долженъ былъ приводиться въ движеніе новоизобрѣтенной имъ паровой машиной; однако онъ его не окончилъ. Отлитый въ 1700 г. для нея цилиндръ и теперь сохраняется, какъ самый старый паровой цилиндръ, въ музеѣ въ Каселѣ; модель насоса находилась также тамъ до 1806 года, но при занятіи Касселя французами была утеряна.



843. Первый паровой цилиндръ Папина.

Около того же времени англичанинъ Ѳома Савери устроилъ паровой насосъ и взялъ на него въ 1698 году патентъ; въ немъ упругость водяного пара была прямо примѣнена къ поднятію воды. Получаемый въ котлѣ, при его подогрѣваніи, водяной паръ былъ проведенъ въ цилиндръ насоса безъ поршней и дѣйствовалъ здѣсь попеременно, вслѣдствіе охлажденія и конденсированія, т.-е. вслѣдствіе полученія безвоздушнаго пространства, то всасываніемъ, то давленіемъ, смотря по тому, было ли открыто или закрыто его соединеніе съ паровымъ котломъ: благодаря этому вода попеременно всасывалась или выдавливалась въ соединенную съ цилиндромъ насоса трубу, снабженную всасывающимъ и нагнетательнымъ клапанами. Соединеніемъ двухъ такихъ цилиндровъ и перемѣнной установкой крана получался паровой насосъ двойного дѣйствія, гдѣ въ одномъ цилиндрѣ паръ сгущался, и *такимъ образомъ насосъ дѣйствовалъ всасывающимъ образомъ*, тогда какъ въ другомъ дѣйствовалъ нагнетающимъ образомъ. Значительный недостатокъ

такихъ насосовъ лежалъ въ вредномъ сгущенiи пара въ цилиндрѣ насоса при его дѣйствiи какъ нагнетающаго насоса. Вслѣдствiе этого получалась слишкомъ малая работа пара, въ виду чего машина эта не могла быть примѣнена для промышленныхъ цѣлей. Такъ какъ способъ дѣйствiя современныхъ паровыхъ машинъ основанъ на примѣненiи приводимаго въ движенiе давленiемъ пара поршня, то изобрѣтенiе Севери не можетъ считаться предшественникомъ паровой машины; машина его была только паровымъ нагнетательнымъ насосомъ для подъема воды и по основанiямъ своего дѣйствiя представляется прототипомъ современныхъ пульзометровъ, уже описанныхъ ранѣе.

Когда Папинъ узналъ о машинѣ Севери, то сомнѣваясь въ успѣхѣ своего изобрѣтенiя, занялся ею и значительно её усовершенствовалъ, помѣстивъ въ цилиндрѣ насоса между паромъ и водою поршень для уменьшенiя сгущенiя пара; онъ стремился также примѣнить эту машину и для другихъ цѣлей, кромѣ накачиванiя воды. Въ особенности онъ стремился привести при помощи паровой силы въ движенiе судно съ колесами съ лопастями, т.-е. устроить колесный пароходъ. Согласно многимъ дошедшимъ до насъ письмамъ къ выдающимся ученымъ, между прочими и къ Лейбницу, повидимому онъ шелъ еще далѣе и конструировалъ паровой котелъ, въ которомъ получался паръ для приведенiя въ дѣйствiе паровой машины высокаго давленiя; при посредствѣ кривошипа онъ превратилъ прямолинейное движенiе поршня впередъ и назадъ во вращательное движенiе. Однако ему не удалось достигнуть хорошихъ результатовъ при своихъ опытахъ; въ одномъ изъ его опытовъ произошелъ взрывъ парового сосуда, вслѣдствiе высокаго давленiя пара, и при этомъ первомъ взрывѣ парового котла произошли большiя разрушенiя и пострадало много людей. Папинъ бѣжалъ отъ гнѣва ландграфа вмѣстѣ съ своею семьей почти безъ всякихъ средствъ въ Англiю; злой рокъ не покидалъ его и здѣсь и онъ умеръ въ 1714 году въ большой бѣдности.



844. Паровая машина Ньюкомена.

Два англiйскихъ работника **Ньюкоменъ** и **Кавлей** съумѣли лучше извлечь изъ своей изобрѣтательности практическiя выгоды. Послѣ безъуспѣшныхъ опытовъ съ машиной Севери они устроили первую настоящую паровую машину Папина, и примѣнили её на практикѣ; они вошли въ соглашенiе съ Севери и въ 1705 г. имъ былъ выданъ патентъ на ихъ „**атмосферическую машину**“, перешедшiй впослѣдствiи къ одному Ньюкомену. Главнѣйшее усовершенствованiе состояло въ томъ, что они для болѣе быстраго сгущенiя пара охлаждали цилиндръ обливанiемъ его извнѣ

водою, а впослѣдствіи вмѣсто этого прямо впрыскивали въ него холодную воду. Рис. 844 представляетъ машину Ньюкомена въ разрѣзѣ. Надъ паровымъ котломъ *a*, снабженнымъ топкой съ колосниками, помѣщается открытый сверху паровой цилиндръ *c* съ плотно входящимъ въ него поршнемъ *P*; цилиндръ соединенъ съ паровымъ пространствомъ котла посредствомъ короткой вертикальной трубы съ клапаномъ. Поршневой стержень при посредствѣ цѣпи присоединенъ къ дугообразному концу рычага коромысла или балансира, укрѣпленному въ точкѣ *o* на оси на устоѣ или балкѣ и имѣющему съ другой стороны также цѣпь для стержня *m* насоса. Благодаря дугообразной формѣ обоихъ концовъ балансира достигается строго вертикальное движеніе стержней насоса и поршня при перемѣщеніи балансира. Дно парового цилиндра кромѣ соединенія съ паровымъ котломъ имѣетъ еще два отверстія *u* и *w*; первое при помощи крана соединяется съ внѣшнимъ пространствомъ, второе при помощи трубы *b* съ клапаномъ *t* соединено со стоящимъ вверху резервуаромъ холодной воды. Когда по открываніи паровпускного клапана паръ изъ котла впускается въ цилиндръ, онъ поднимаетъ поршень P вверхъ, чему способствуетъ также вѣсъ стержня насоса. При наивысшемъ положеніи поршня клапанъ, соединяющій цилиндръ съ котломъ, закрывается, но открывается кранъ *t*, и холодная вода изъ трубы *b* впрыскивается въ цилиндръ, благодаря чему паръ въ цилиндрѣ сгущается и внѣшнее давленіе заставляетъ поршень двигаться внизъ, а стержень насоса подниматься вверхъ. Впрыскиваемая, точно также какъ и сгустившаяся изъ пара вода выпускается черезъ кранъ *u*. Главная работа здѣсь производится при движеніи поршня внизъ давленіемъ атмосферы, давящимъ на 1 кв. с. поверхности поршня съ силою, равною одному килограмму; вслѣдствіе чего машина эта и называется атмосферическою. Поднятіе поршня производится главнымъ образомъ вѣсомъ стержня насоса, незначительная же упругость водяного пара не производитъ почти никакой работы; мощность машины зависитъ такимъ образомъ только отъ величины поверхности поршня. Открытіе способа сгущенія пара впрыскиваніемъ воды, способа, который и теперь еще во всеобщемъ употребленіи, обязано чистой случайности. Первоначально для охлажденія Ньюкоменъ обливалъ водою цилиндръ, какъ извнѣ, такъ и внутри надъ поршнемъ; однажды его машина пошла необыкновенно быстро и когда онъ изслѣдовалъ причину этого, то оказалось, что поршень не вполнѣ плотно входилъ въ цилиндръ, и въ нижнюю часть цилиндра попадало нѣкоторое количество воды, находившейся вверху надъ поршнемъ, благодаря чему и ускорялось сгущеніе пара.

Для равномѣрнаго хода машины, согласно предыдущему описанію, необходимо, чтобы смотрящій за ходомъ машины попеременно открывалъ и закрывалъ: впускной клапанъ, кранъ для впрыскиванія воды, точно также и спускной кранъ. Когда одному бойкому мальчику Гумфри Поттеру, приставленному къ подобной машинѣ въ Корнваллѣ, эта работа показалась скучной, онъ передалъ эту работу самой паровой машинѣ, соединивъ при помощи шнура рукоятки крановъ съ движущимися частями машины, благодаря чему послѣдняя сама съ большою точностью закрывала и открывала въ должное время различные краны. Это открытіе самодѣйствующаго парораспредѣленія имѣло громадное значеніе, такъ какъ оно дѣлало ходъ машины независимымъ отъ постоянной внимательности и надежности (аккуратности) надсмотрщика. Впослѣдствіи парораспредѣленіе было существенно улучшено и приводилось въ дѣйствіе сочлененіемъ *T* (рис. 844). Около этого же времени былъ введенъ предложенный уже ранѣе Папиномъ предохранительный клапанъ и такимъ образомъ машина Ньюкомена получила вполнѣ для того времени примѣнимый къ практикѣ видъ; её часто примѣняли въ Англіи для откачиванія воды въ рудникахъ, первый разъ

въ 1712 году въ угольныхъ копяхъ графства Варвикъ, и она въ такомъ видѣ безъ существенныхъ измѣненій сохранилась въ теченіи 60 лѣтъ. Фицджеральдъ пытался преобразовать колебательное движеніе балансира во вращательное вала съ маховикомъ при посредствѣ зубчатыхъ колесъ и тормазовъ. Бриндлей пытался примѣнить самодѣйствующее питаніе котловъ.

Машина Ньюкомена страдала отъ двухъ главныхъ недостатковъ; при охлажденіи цилиндровъ впрыскиваніемъ воды терялось много тепла и приложеніе ея ограничивалось примѣненіемъ ея къ насосамъ; для такого назначенія она всегда оставалась очень удобнымъ двигателемъ, и въ Германіи



815. Джемсъ Ваттъ.

въ нѣкоторыхъ мѣстахъ она была въ употребленіи до конца тридцатыхъ годовъ прошедшаго столѣтія, въ Англіи мѣстами и еще дольше.

Совершенно новая эра въ исторіи развитія паровыхъ машинъ наступила только со времени геніальнаго шотландца, Джемса Ватта, который настолько улучшилъ машину Ньюкомена и привелъ паровыя машины въ такое совершенство, что онѣ стали въ состояніи доставлять находившейся въ зародышѣ промышленности необходимыя для ея жизненнаго и быстраго развитія силы для всевозможныхъ примѣненій. До новѣйшаго времени въ способъ дѣйствія паровыхъ машинъ и даже въ расположеніе ихъ главныхъ частей не внесено никакихъ значительныхъ и существенныхъ измѣненій, такъ что Ваттъ въ правѣ считаться ихъ вторымъ изобрѣтателемъ, главнымъ образомъ, какъ создатель такого вида паровыхъ машинъ, въ которомъ онѣ уже съ давнихъ поръ сдѣлались необходимыми для промышленности.

До времени Ватта успѣхи въ постройкѣ паровыхъ машинъ дѣлались

только на основаніи опыта; по произведеннымъ опытамъ постепенно и случайно вводились частныя усовершенствованія въ машинахъ то въ тѣхъ, то въ другихъ отдѣльныхъ ихъ частяхъ, матеріалѣ, способѣ обработки. Настоящій способъ дѣйствія машинъ оставался неизвѣстнымъ, и едва ли кто стремился заниматься имъ на научныхъ основаніяхъ; теоріи паровыхъ машинъ не существовало, даже не было ея и въ зародышѣ. Конечно, общее состояніе знанія въ то время не давало возможности прійти къ созданію такой теоріи; только нѣкоторые просвѣщенные люди начали стремиться вмѣсто старыхъ, неправильныхъ взглядовъ создать новое ученіе о теплѣ, о природѣ и свойствахъ водяного пара. Только благодаря этимъ успѣхамъ знанія явилась возможность изучить основные законы дѣйствія паровыхъ машинъ, создать ихъ теорію и вывести изъ нея новыя практическія улучшенія. Съ началомъ плодотворнаго научнаго изслѣдованія способа дѣйствія паровыхъ машинъ въ теченіи немногихъ лѣтъ въ нихъ введены значительно бо̀льшія усовершенствованія, чѣмъ на основаніи опытныхъ данныхъ въ теченіи предшествовавшихъ ста лѣтъ.

Начало новаго періода связано съ именемъ Джемса Ватта. Онъ родился въ 1736 г. въ Гренокке̇, въ Шотландіи. Уже съ ранней юности онъ былъ мыслителемъ и мечтателемъ; будучи ребенкомъ, вмѣсто игръ онъ рѣшалъ математическія задачи, своими игрушками онъ не пользовался, какъ другія дѣти, для забавъ, но занимался ихъ сборкой и разборкой съ помощью небольшого набора инструментовъ. Шестнадцати лѣтъ онъ оставилъ предназначавшееся ему ученое поприще и поступилъ ученикомъ въ одну механическую мастерскую въ своемъ родномъ городѣ. Четыре года спустя, онъ перешелъ для дополненія своего образованія въ подобную же мастерскую въ Лондонѣ. На переѣздъ туда онъ употребилъ двѣнадцать дней и врядъ ли тогда предчувствовалъ, что этотъ путь, благодаря его изобрѣтенію, можно будетъ совершать въ двѣнадцать часовъ. Въ Лондонѣ онъ оставался только годъ, послѣ чего онъ вернулся въ Глазго и позже (1756) занимался изготовленіемъ физическихъ приборовъ въ качествѣ университетскаго механика. Вскорѣ стало извѣстнымъ, что скромный механикъ обладаетъ выдающимся умомъ и его мастерская въ университетскомъ зданіи сдѣлалась мѣстомъ собранія выдающихся ученыхъ въ Глазго.

Одинъ изъ современниковъ, находившійся въ дружбѣ съ Ваттомъ, разсказываетъ: „Такъ какъ я изучалъ математическія и механическія науки, то былъ введенъ къ Ватту однимъ изъ знакомыхъ. Я ожидалъ встрѣтить простого рабочаго и, повидимому, такого и встрѣтилъ; какъ, однако, я былъ пораженъ, когда при ближайшемъ съ нимъ знакомствѣ, я узналъ въ немъ ученаго, который, будучи не старше меня, въ то же время былъ въ состояніи дать мнѣ объясненія на всѣ вопросы механики и естествознанія, съ которыми я къ нему обращался. Я полагалъ, что я далеко ушелъ въ своихъ изысканіяхъ, и увидѣлъ, что Ваттъ превзошелъ меня. То же самое было и съ моими знакомыми. Со всякими представлявшимися намъ затрудненіями мы обращались къ Ватту и онъ всегда былъ въ состояніи дать намъ разъясненія; однако, каждый такой вопросъ для него являлся предметомъ новаго и серьезнаго изученія, и онъ не успокаивался до тѣхъ поръ, пока или не убѣждался въ маловажности вопроса, или давалъ полное возможное его рѣшеніе. Эта особенность въ соединеніи съ величайшею скромностью и добротою дѣлали то, что всѣ его знакомые были ему сердечно преданы и признательны.

Повидимому, Ваттъ началъ безостановочно заниматься изученіемъ свойствъ и примѣнимостью пара съ 1762 и 1763 гг., когда онъ произвелъ много опытовъ съ папиновымъ котломъ; только въ слѣдующемъ году удалось ему найти вѣрный путь, приведшій его къ славѣ. Въ университетской коллекціи находилась модель паровой машины Ньюкомена, употреблявшаяся для объясненій на лекціяхъ. Модель эта не могла быть приведена въ дѣйствіе и поступила на исправленіе къ Ватту. Онъ вполнѣ успѣшно исправилъ ее; его усердіе на этомъ, однако, не остановилось. Онъ былъ однимъ изъ са-

мыхъ прилежныхъ учениковъ проф. Іосифа Блэка (Black), который въ 1763 г. ввелъ понятіе о свободной и связанной (скрытой) теплотѣ и объ удѣльной теплотѣ, имѣвшее большое вліяніе на развитіе ученія о теоріи тепла; благодаря лекціямъ Блэка, Ваттъ, по его собственнымъ словамъ, дошелъ до блестящихъ улучшеній въ паровой машинѣ. Въ 1764 г. онъ покинулъ мѣсто при университетѣ съ тѣмъ, чтобы имѣть возможность въ качествѣ самостоятельнаго инженера съ большимъ усердіемъ предаться своимъ работамъ. Онъ скоро замѣтилъ, въ чемъ лежитъ причина недостатковъ въ дѣйствіи машины Ньюкомена. Машина требовала, какъ мы видѣли, холодной воды для сгущенія подъ поршнемъ пара для полученія въ немъ возможно лучшаго разрѣженнаго пространства. Но этимъ для послѣдующаго подъема поршня создавалось то неудобство, что паръ, приходя въ соприкосновеніе съ только что охлажденными водой стѣнками цилиндра и съ поверхностью поршня, преждевременно охлаждался и сгущался, что вызывало значительную потерю пара. Замѣтивъ это, онъ пришелъ къ одному изъ самыхъ важныхъ своихъ открытій, къ устройству особаго прибора для сгущенія пара внѣ цилиндра, конденсатора (холодильника), въ который отводится паръ послѣ работы его въ цилиндрѣ и въ которомъ онъ и сгущается. Въ 1774 г. Ваттъ вошелъ въ сношеніе съ Бультономъ и въ послѣдующее время изобрѣтенія Ватта приводились въ исполненіе и технически усовершенствовались на машиностроительномъ заводѣ въ Сого, недалеко отъ Бирмингама; въ теченіи долгаго времени изъ этого завода выходили почти всѣ паровыя машины, примѣнявшіяся въ Англіи и въ большей части Европы и Америки, и до сихъ поръ этотъ заводъ сохранилъ заслуженную извѣстность. Самъ Ваттъ неотступно работалъ надъ новыми изобрѣтеніями и усовершенствованіями въ своей паровой машинѣ; ранѣе строившіяся паровыя машины почти исключительно примѣнялись для откачиванія воды въ рудникахъ и, какъ было указано ранѣе, поршни насоса непосредственно подвѣшивались къ балансиру на сторонѣ, противуположной поршню паровой машины. При этомъ нельзя было избѣгнуть неравномѣрности и нѣкоторой невѣрности въ ходѣ; Ваттъ также въ началѣ старался устранить этотъ недостатокъ и исключить неравномѣрность хода, имѣющую мѣсто при перемѣнѣ хода стержня поршня съ хода вверхъ на ходъ внизъ. Этого ему вполнѣ удалось достигнуть, примѣнивъ кривошипъ для превращенія прямолинейнаго движенія поршня во вращательное движеніе вала и заставляя машину приводить въ движеніе насаженное на валъ тяжелое желѣзное колесо, маховикъ, который, по приведеніи его въ движеніе, продолжаетъ нѣкоторое время это движеніе по законамъ механики, закону инерціи, даже и въ томъ случаѣ, если движущая сила прекратитъ свое дѣйствіе. Благодаря этому тѣ промежутки, когда машина мѣняетъ направленіе движенія и, собственно говоря, не работаетъ (не доставляетъ энергіи), т.-е. мертвыя точки были выравнены и ходъ машины сдѣланъ равномѣрнымъ и спокойнымъ. Отъ оси маховика приводились въ движеніе также тѣ части, которыя должны были передавать силу машины отдѣльнымъ исполнительнымъ механизмамъ. Слѣдуетъ, однако, замѣтить для разсѣянія невѣрнаго мнѣнія, будто бы Ваттъ изобрѣлъ кривошипъ и маховикъ, что они были извѣстны и уже примѣнялись значительно ранѣе. Примѣненіе же кривошипа къ паровымъ машинамъ открыло новое широкое поле для употребленія ихъ, такъ какъ теперь стало возможнымъ пользоваться ими для выполненія всевозможныхъ работъ въ качествѣ рабочихъ машинъ. Дальнѣйшее существенное изобрѣтеніе Ватта представляетъ „параллелограммъ“, часть машины, еще и теперь носящая имя изобрѣтателя, благодаря которой, несмотря на колебательное и, слѣдовательно, по дугѣ круга движеніе конца балансира, соединенные съ нимъ поршневые стержни получаютъ строго прямолинейное, вертикальное движеніе; онъ замѣняетъ собою,

такимъ образомъ, уже описанное ранѣе приспособленіе въ машинѣ Ньюкомена, именно подвѣшиваніе стержней насоса на цѣпи къ дугообразному концу балансира. (Болѣе подробное описаніе „параллелограмма" будетъ дано далѣе).

Самымъ важнымъ изобрѣтеніемъ Ватта былъ переходъ отъ паровыхъ машинъ простого дѣйствія къ паровымъ машинамъ двойного дѣйствія. Первыя машины Ватта, какъ мы видѣли, были не что иное, какъ усовершенствованныя машины Ньюкомена; это были атмосферическія паровыя машины; паръ въ нихъ поступалъ въ цилиндръ подъ поршень только съ одной стороны его; въ основѣ ихъ лежала мысль воспользоваться паромъ для полученія разрѣженнаго пространства и поэтому работали съ паромъ совсѣмъ незначительной упругости; поршни приводились въ движеніе только давленіемъ воздуха, дѣйствовавшимъ на поршень со стороны, противуположной пару. Благодаря такому одностороннему дѣйствію силы и получалась неравномѣрность хода; Ваттъ пытался сперва получить равномѣрный ходъ, заставляя на одинъ валъ работать двѣ машины, причемъ кривошипы ихъ устанавливалъ одинъ относительно другого такъ, что когда одинъ поршень поднимался, другой опускался. Только по прошествіи четырнадцати лѣтъ, въ 1784 г. Ватту пришла мысль, что и въ парѣ малой упругости существуетъ и быть можетъ бóльшая сила, чѣмъ въ атмосферномъ давленіи. Уже и ранѣе при машинахъ простого дѣйствія онъ впускалъ паръ въ пространство надъ поршнемъ, но только съ цѣлью уменьшенія охлаждающаго дѣйствія воздуха на стѣнки цилиндра и поршень. Теперь же онъ, наоборотъ, устроилъ совершенно новый способъ подводки пара и новую конструкцію установки клапановъ, причемъ свѣжій паръ поступалъ попеременно подъ поршень и въ пространство надъ нимъ и въ то же время съ другой стороны поршня одновременно открывалось отверстіе для выпуска отработавшаго пара въ холодильникъ; машина теперь работала равномѣрно при ходѣ поршня вверхъ и внизъ — она сдѣлалась машиною двойного дѣйствія. Одновременно съ этимъ Ваттъ ввелъ уравнитель хода — „регуляторъ". Въ предшествовавшихъ машинахъ источникъ ихъ недостатковъ лежалъ въ томъ, что не было возможности поддерживать топку постоянно равномѣрно. Вслѣдствіе этого не могли оставаться всегда постоянными какъ парообразованіе, такъ и притокъ пара къ машинѣ и поэтому машина при перемѣнномъ парообразованіи и при перемѣнной нагрузкѣ работала съ перемѣнною скоростью. Ваттъ пытался устранить этотъ недостатокъ помѣщеніемъ въ паропроводѣ, идущемъ отъ котла къ паровой машинѣ, особаго клапана (паровыпускного клапана) и устанавливаніемъ его постоянно въ-ручную при помощи особаго рабочаго. Вскорѣ оказалось, что малѣйшая невнимательность рабочаго можетъ испортить машину, и Ватту удалось и эту работу регулированія передать самой машинѣ. Для этой цѣли служитъ регуляторъ Ватта, описанный въ первомъ отдѣлѣ этого тома.

Не непосредственно Ваттомъ, но подъ его вліяніемъ, инженеромъ машиностроительнаго завода Бультона и Ватта было введено вмѣсто клапаннаго парораспредѣленія золотниковое парораспредѣленіе съ эксцентричнымъ проводомъ.

Паровыя машины Ватта работы завода Бультона и Ватта для тѣхъ цѣлей, для которыхъ онѣ строились, были вполнѣ хороши; онѣ примѣнялись, главнымъ образомъ, какъ подъемныя машины. Онѣ удержались въ теченіи очень долгаго времени безъ значительныхъ измѣненій въ конструкціи; только въ концѣ пятидесятыхъ годовъ онѣ почти вполнѣ исчезли, однако, единичные экземпляры ихъ можно мѣстами встрѣтить и теперь въ работѣ, послѣ болѣе чѣмъ столѣтней ихъ службы. Болѣе подробное описаніе, точно также и рисунки машины Ватта будутъ приведены далѣе.

Джемсъ Ваттъ не подвергся печальной участи другихъ изобрѣтателей, какъ напр., достойнаго сожалѣнія Папина; онъ часто видѣлъ прекрасные успѣхи своихъ, изобрѣтеній и испытывалъ радость, что его машины вездѣ признаны, какъ превосходные двигатели, и приняты, какъ судовыя машины на морскихъ и рѣчныхъ судахъ. Въ 1800 г. онъ удалился отъ руководства заводомъ и съ тѣхъ поръ жилъ, занимаясь и отдыхая, въ своемъ загородномъ домѣ Хитфилдѣ (Heatfield) около Бирмингама и умеръ въ 1819 г. 83 лѣтъ отъ роду. Его современники не отказали ему какъ при жизни, такъ и послѣ смерти въ заслуженной признательности. Англичане воздвигли ему въ Вестминстерскомъ аббатствѣ, въ этомъ англійскомъ Пантеонѣ, мраморную статую со слѣдующею подписью:

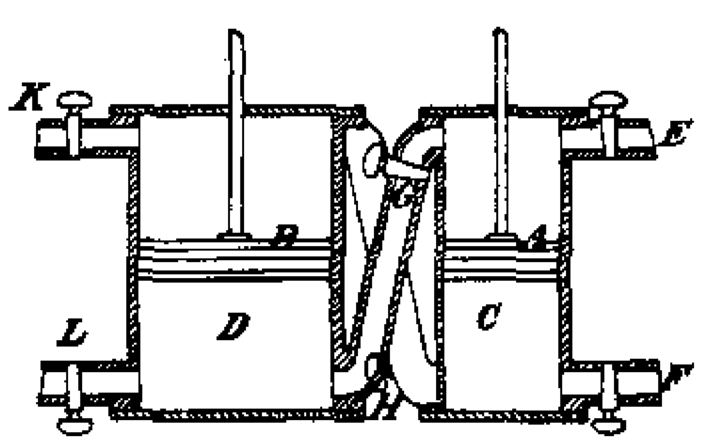
Джемсъ Ваттъ,
который силу своего творческаго,
ранѣе пріученнаго къ научнымъ изслѣдованіямъ ума,
обратилъ къ усовершенствованію паровой машины,
чѣмъ расширилъ вспомогательныя средства своей страны,
увеличилъ силу человѣка
и себя поставилъ на выдающееся мѣсто
среди знаменитѣйшихъ людей науки
и истинныхъ благодѣтелей міра.

Дальнѣйшее развитіе паровыхъ машинъ Ватта происходило главнѣйшимъ образомъ въ направленіи увеличенія рабочаго давленія пара; примѣнявшіяся до тѣхъ поръ машины работали при избыткѣ давленія пара надъ атмосфернымъ отъ 1/2 до 1 атмосферы. При этихъ незначительныхъ давленіяхъ пара требовались для полученія значительныхъ силъ большіе поршни: наоборотъ, при большихъ давленіяхъ пара получается не только бо́льшее дѣйствіе, но и лучшая утилизація тепла, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ возможно пользоваться также и силою расширенія или упругостью водяного пара. Направленныя къ этому попытки начались уже въ предыдущее столѣтіе; самъ Ваттъ въ семидесятыхъ годахъ восемнадцатаго столѣтія дѣлалъ попытки пользованія силою расширенія пара при примѣнявшихся ими малыхъ упругостяхъ пара, запирая впускъ пара до окончанія подъема поршня, такъ что при дальнѣйшемъ поднятіи поршня паръ безъ дальнѣйшаго его притока совершалъ работу только вслѣдствіе своего расширенія. Примѣняя же болѣе высокія давленія пара, можно получить значительно бо́льшую работу расширенія. Къ машинамъ высокаго давленія Ваттъ, однако, питалъ большое нерасположеніе и этому слѣдуетъ приписать то, что его геніальный сотрудникъ, шотландецъ Мурдахъ, изобрѣтатель освѣщенія каменноугольнымъ газомъ, не ввелъ тогда же машинъ высокаго давленія для движенія локомотивовъ.

Въ 1781 г. англичанинъ Горнбловеръ (Hornblower) спроектировалъ двуцилиндровую паровую машину, въ которой рабочій паръ высокаго давленія поступалъ въ большой цилиндръ изъ меньшаго, послѣ работы въ послѣднемъ при полномъ давленіи, и работалъ въ большомъ цилиндрѣ только благодаря расширенію. Горнбловеръ не могъ привести въ исполненіе своего изобрѣтенія, такъ какъ онъ хотѣлъ сохранить при этомъ холодильникъ, патентъ на который былъ взятъ Бультономъ и Ваттомъ. Къ началу 19 столѣтія начали входить паровыя машины простого дѣйствія и высокаго давленія безъ охлажденія; отъ холодильника отказались и происходящей вслѣдствіе его отсутствія потерей тепла пожертвовали съ тѣмъ, чтобы имѣть болѣе сильныя, меньшихъ размѣровъ и болѣе простыя паровыя машины высокаго давленія.

Значительнымъ успѣхомъ является постройка въ 1804 г. Артуромъ Вульфомъ двуцилиндровой машины. Идея ея принадлежитъ, какъ уже указано, не Вульфу; о нихъ уже ранѣе думалъ Горнбловеръ и позже уже строились подобныя машины, которыя, однако, не имѣли никакого практическаго успѣха вслѣдствіе конструктивныхъ ошибокъ. Вульфъ же первый устроилъ паровую машину двойного дѣйствія съ расширеніемъ пара вполнѣ

правильно, такъ что эта система паровыхъ машинъ, оставшаяся безъ существенныхъ измѣненій до сихъ поръ въ большомъ употребленіи, по справедливости носитъ его имя. *Въ машинѣ Вульфа свѣжій паръ высокаго давленія*, поступающій прямо изъ котла, сперва работаетъ, отчасти, съ расширеніемъ, въ меньшемъ изъ двухъ паровыхъ цилиндровъ — цилиндрѣ высокаго давленія; по перемѣнѣ хода, при обратномъ ходѣ поршня, паръ поступаетъ не въ холодильникъ и не выпускается, какъ отработавшій, а переходитъ во второй бо́льшій паровой цилиндръ, въ которомъ онъ работаетъ дальнѣйшимъ расширеніемъ; только послѣ этого онъ сгущается въ холодильникѣ. Рис. 846 схематически представляетъ расположеніе частей въ вульфовской балансирной машинѣ. Оба цилиндра C и D помѣщены рядомъ; стержни поршней одинаково удалены отъ средней точки балансира, на который они работаютъ; слѣдовательно, ходъ ихъ одинаковъ; они могутъ стоять и одинъ за другимъ; тогда, конечно, стоящій ближе къ серединѣ балансира долженъ имѣть соотвѣтственно меньшій ходъ; емкость большого цилиндра низкаго давленія отъ трехъ до пяти разъ больше емкости цилиндра высокаго давленія. Свѣжій паръ изъ котла поступаетъ по схематически изображеннымъ на рисункѣ каналамъ E и F въ малый цилиндръ; если, напр., каналъ E открытъ, а F запертъ, то паръ производитъ давленіе на поршень сверху. Кранъ G соединительной трубки съ цилиндромъ D закрытъ; кранъ H, наоборотъ, открытъ и оставшійся подъ поршнемъ A паръ отъ предыдущаго впуска переходитъ при его опусканіи въ цилиндръ низкаго давленія въ пространствѣ надъ поршнемъ и производитъ на него также давленіе сверху внизъ. Изъ выпускныхъ крановъ цилиндра низкаго давленія кранъ K закрытъ, Z открытъ и находящійся подъ поршнемъ паръ черезъ него переходитъ *въ холодильникъ. Вмѣсто крановъ мыслимо распредѣленіе, приводимое въ дѣйствіе самой машиной*; къ концу каждаго хода поршня впускъ и выпускъ пара перераспредѣляются такимъ образомъ, что происходитъ обратный ходъ поршня.



846. Расположеніе цилиндровъ въ машинѣ Вульфа.

Теоретически такія машины двойного дѣйствія съ расширеніемъ пара не имѣютъ собственно никакого преимущества передъ простыми машинами съ холодильникомъ, такъ какъ и въ послѣднихъ возможно заставить паръ расширяться отъ полнаго давленія въ котлѣ до давленія, равнаго нулю, если только достаточно рано при каждомъ ходѣ поршня отсѣкать паръ, т.-е. впускать подъ поршень только столько пара, чтобы онъ по окончаніи хода поршня выходилъ изъ цилиндра безъ избытка давленія. При этомъ получится та же самая работа и, кромѣ того, избавляются отъ потерь на треніе во второмъ цилиндра и второго поршневого стержня. На практикѣ же это связано съ бо́льшими невыгодами, такъ какъ при большихъ давленіяхъ пара въ котлѣ при началѣ впуска пара (давленіе при впускѣ), съ другой стороны поршня нѣтъ почти никакого избытка давленія, то при большой разности давленій съ обѣихъ сторонъ поршня труднѣе послѣдній сдѣлать непропускающимъ и препятствовать протоку пара съ одной стороны цилиндра на другую и связаннаго съ нимъ уменьшенія въ потерѣ пара возможно достигнуть только тѣмъ, что заставляютъ поршень ходить въ цилиндрѣ достаточно плотно, вслѣдствіе чего происходятъ значительныя потери на треніе; далѣе *имѣетъ большое значеніе то обстоятельство, что съ бо́льшими разностями давленій* связаны бо́льшія разности въ температурахъ и вмѣстѣ съ тѣмъ быстро увеличивающіяся съ увеличеніемъ разности температуръ вредныя — передача и потеря тепла стѣнками цилиндра. При впускѣ свѣжаго пара высокаго давленія изъ котла въ цилиндръ, охлажденный предшествовавшимъ расширеніемъ пара, часть его сгущается, *чѣмъ обусловливаются значительныя потери въ теплѣ и работѣ*; наоборотъ, при распредѣленіи работы расширенія пара на два цилиндра разность температуръ въ каждомъ изъ нихъ бываетъ значительно меньше.

Въ отношеніи конструктивныхъ данныхъ паровыя машины въ то время, т.-е. около начала 19 столѣтія, претерпѣли различныя измѣненія; строились машины безъ балансира, въ которыхъ поршни приводили во вращеніе валъ съ маховикомъ прямо посредствомъ бокового шатуна и кривошипа; такъ какъ подобное расположеніе болѣе удобно для большинства случаевъ примѣненія паровыхъ машинъ, чѣмъ устройство съ балансиромъ, то весьма скоро эта конструкція получила широкое примѣненіе, въ особенности послѣ того, какъ вскорѣ ввели горизонтальныя паровыя машины. Ранѣе различныя машины строились почти исключительно вертикальными; опасались, что при горизонтальномъ цилиндрѣ вслѣдствіе дѣйствія вѣса поршня можетъ произойти быстрое стираніе цилиндра съ одной стороны и такимъ образомъ будетъ нарушено плотное прилеганіе поршня къ стѣнкамъ цилиндра. Эти опасенія были, однако, совсѣмъ напрасны; скоро оказалось, что это стираніе не такъ опасно и можетъ быть устранено соотвѣтственными направляющими поршня. Около 1820 г. были уже устроены паровыя машины съ качающимися цилиндрами; въ нихъ цилиндры подвижны около оси и стержни поршней непосредственно дѣйствуютъ на кривошипъ безъ промежуточныхъ частей (шатуновъ), благодаря тому, что цилиндры при вращеніи кривошипа имѣютъ боковое качательное движеніе около оси.

Около 1807 г. паровыя машины нашли новую очень обширную область примѣненія, именно, онѣ вошли въ употребленіе на морскихъ и рѣчныхъ судахъ; въ этомъ году впервые было устроено американцемъ Фультономъ правильное пароходное сообщеніе колеснымъ пароходомъ „Клермонъ“. Въ Европѣ первый пароходъ былъ введенъ нѣсколькими годами позже, въ 1812 г. въ Шотландіи на рѣкѣ Клейдѣ. Въ 1817 г. появился первый пароходъ на Рейнѣ и въ 1819 г. первый морской пароходъ въ Европѣ на Адріатическомъ морѣ, на пароходной линіи между Венеціей и Тріестомъ. Въ 1819 же г. совершилъ путь изъ Нью-Іорка въ Ливерпуль первый океанскій пароходъ на Атлантическомъ океанѣ. Къ этому же времени относится начало паровыхъ желѣзныхъ дорогъ; въ 1814 г. Стефенсонъ съ успѣхомъ устроилъ первый локомотивъ съ паровой машиной для желѣзнодорожной службы. О локомотивахъ и локомобиляхъ будетъ далѣе изложено болѣе подробно.

Наиболѣе важнымъ успѣхомъ въ построеніи паровыхъ машинъ въ новѣйшее время, не считая многочисленныхъ конструктивныхъ усовершенствованій въ отдѣльныхъ ихъ частяхъ, о которыхъ здѣсь не мѣсто входить въ болѣе подробное разсмотрѣніе, было изобрѣтеніе компаундъ или компаундъ-ресиверъ машины. Это паровая машина съ многократнымъ расширеніемъ пара, въ которой два или бо́льшее число цилиндровъ такъ скомбинированы, что паръ работаетъ расширеніемъ въ нихъ послѣдовательно однимъ за другимъ; свѣжій паръ изъ парового котла входитъ сперва при полномъ давленіи въ меньшій цилиндръ или цилиндръ высокаго давленія и изъ него переходитъ въ одинъ или нѣсколько цилиндровъ низкаго давленія, въ которыхъ онъ при дальнѣйшемъ расширеніи, совершая работу, вполнѣ теряетъ свою работоспособность; по числу цилиндровъ, въ которые входитъ послѣдовательно паръ, различаютъ паровыя машины двойного, тройного и въ новѣйшее время четверного расширенія. Старая машина Вульфа съ двумя цилиндрами, вообще говоря, была машиною компаундъ; спеціально же ее нельзя причислять къ машинамъ компаундъ, и она скорѣе представляетъ подъ именемъ машины Вульфа особую систему паровой машины; отъ нея существенно отличаются настоящія компаундъ-ресиверъ машины. Въ машинахъ Вульфа паръ поступаетъ изъ малаго цилиндра непосредственно въ большой и притомъ въ теченіи всего времени хода поршня; благодаря этому оба поршня или одновременно поднимаются или идутъ въ различныхъ направленіяхъ, но одновременно оканчиваютъ свой ходъ и, слѣдовательно, одновременно совер-

шаютъ перемѣну направленія движенія, имѣютъ общую мертвую точку и работаютъ или постоянно въ одномъ и томъ же направленіи на кривошипы, расположенные съ одной и той же стороны вала, или въ противуположныхъ направленіяхъ на кривошипы, расположенные другъ противъ друга (на 180°); такимъ образомъ здѣсь не можетъ имѣть мѣста уравниваніе въ работѣ обоихъ поршней; наибольшая и наименьшая нагрузка обоихъ поршней совпадаетъ, такъ что двуцилиндровая машина Вульфа въ этомъ отношеніи работаетъ также, какъ и одноцилиндровыя машины. Въ машинахъ компаундъ, наоборотъ, въ паропроводъ между двумя послѣдовательно расположенными цилиндрами включенъ особый резервуаръ „ресиверъ“; благодаря ему оба цилиндра сдѣланы независимыми до извѣстной степени одинъ отъ другого; паръ изъ малаго цилиндра собирается въ ресиверѣ и этотъ паръ низкаго давленія попадаетъ въ большой цилиндръ независимо отъ положенія поршня малаго цилиндра. Каждый поршень одинъ по отношенію другого можетъ занимать любое положеніе; кривошипы могутъ быть вслѣдствіе этого установлены подъ любымъ угломъ одинъ къ другому и при машинѣ двойного расширенія ихъ устанавливаютъ одинъ къ другому подъ прямымъ угломъ; благодаря этому постоянно одинъ поршень работаетъ на валъ въ среднемъ своемъ положеніи съ наибольшей силой въ то время, когда другой поршень мѣняетъ направленіе своего движенія, т.-е. находится въ мертвой точкѣ. Благодаря этому ходъ машины дѣлается болѣе равномѣрнымъ и ее можно пускать въ ходъ при любомъ положеніи поршней, какъ и въ сдвоенной паровой машинѣ, т.-е. никогда оба поршня не находятся одновременно въ мертвой точкѣ, какъ это имѣетъ мѣсто при одноцилиндровыхъ машинахъ и въ машинѣ Вульфа. (Современныя машины компаундъ-ресиверъ будутъ изображены и описаны далѣе). Соотвѣтственнымъ выборомъ діаметровъ обоихъ цилиндровъ и давленій пара, при которыхъ они должны работать, возможно достигнуть того, что оба поршня будутъ доставлять половину работы и что сумма работы обоихъ поршней въ любой моментъ мало будетъ отличаться отъ ея средней величины.

Первая мысль о паровой машинѣ съ послѣдовательнымъ расширеніемъ пара въ нѣсколькихъ цилиндрахъ принадлежитъ, какъ мы видѣли, Горнбловеру (1781); Вульфъ существенно улучшилъ эту старую машину одиночнаго дѣйствія двойного расширенія въ 1814 г. примѣненіемъ принципа двойного дѣйствія и болѣе высокаго давленія пара, именно конструировавъ машину Вульфа; объ изобрѣтеніи компаундъ или компаундъ-ресиверъ машинъ имѣется значительно менѣе подробныхъ и точныхъ свѣдѣній. По большей части изобрѣтателемъ ихъ считается англичанинъ Генри Вольфъ (не слѣдуетъ смѣшивать его съ Артуромъ Вульфомъ), взявшій въ 1834 г. на подобную машину привиллегію; однако, доказано, что онъ не самъ изобрѣлъ ее; онъ былъ скорѣе представителемъ иностраннаго изобрѣтателя, какъ теперь говорятъ, ходатаемъ по порученію привиллегіи, какъ это и указано въ самомъ англійскомъ патентѣ. Около того же времени былъ выданъ независимо отъ Вольфа также французскій патентъ на подобное изобрѣтеніе машиностроительному заводу Андре Кохелинъ въ Мюльгаузенѣ въ Эльзасѣ; но изобрѣтеніе это не исходило также и отъ этой фирмы, такъ какъ рѣчь шла о „патентѣ на распространеніе“; фирма Кохлина являлась такимъ образомъ только посредницей или владѣтельницей патента. Настоящимъ изобрѣтателемъ машины компаундъ долженъ быть признанъ Рентгенъ, бывшій въ тридцатыхъ годахъ директоромъ судостроительнаго завода въ Fijenord'ѣ (Голландія) и по новѣйшимъ свѣдѣніямъ Вольфъ взялъ патентъ въ качествѣ его представителя.

Здѣсь можно еще привести нѣкоторыя данныя о введеніи и о распространеніи паровыхъ машинъ въ Германіи.

Первыя паровыя машины очевидно были ввезены въ Германію изъ Англіи; первая машина была пріобрѣтена королевскимъ мансфельдскимъ горнымъ вѣдомствомъ уже въ 1785 г. для рудника Фридриха Вильгельма при Геттштедтѣ. Нѣсколько лѣтъ позже въ 1788 г. были введены паровыя установки въ свинцовыхъ рудникахъ Фридриха при Тарновицѣ; затѣмъ слѣдовали паровыя установки въ различныхъ другихъ рудникахъ. Въ Германія, также какъ и въ Англіи, паровыя машины первоначально примѣнялись при разработкѣ рудниковъ. Въ Вестфаліи въ 1801 г. была установлена на солеваренномъ заводѣ Кенигсборнъ при Уннѣ привозная паровая машина Ватта, а на каменноугольныхъ копяхъ Волльмондъ при Бохумѣ построенная въ Силезіи атмосферическая машина Ньюкомена. Послѣднее имѣло большое значеніе въ дѣлѣ развитія машиностроенія въ Вестфаліи. При сборкѣ и установкѣ ея принималъ дѣятельное участіе интеллигентный плотникъ Францъ Диннендаль; онъ при этой работѣ настолько ознакомился съ этой машиной, что былъ въ состояніи самъ открыть (при Штеелѣ) заводъ для постройки паровыхъ машинъ; это былъ первый машиностроительный заводъ и онъ послужилъ началомъ большой отрасли промышленности по постройкѣ паровыхъ машинъ въ Вестфаліи. Диннендаль строилъ машины только для водоподъемныхъ машинъ (насосовъ) для рудниковъ; цилиндры и нѣкоторыя чугунныя части отливались на тогда уже существовавшемъ заводѣ „Gutehoffnung“ въ Штеркрадѣ около Обергаузена; тамъ же вытачивались паровые цилиндры на станкахъ, приводимыхъ въ дѣйствіе водяною силою. Конечно, эти первыя нѣмецкія паровыя машины были слишкомъ грубы и примитивны; балансиры дѣлались изъ дубовыхъ брусьевъ. По старымъ заводскимъ книгамъ завода „Gutehoffnung“ за 1808—1819 гг. видно, что по заказу Диннендаля былъ изготовленъ для различныхъ вестфальскихъ рудниковъ цѣлый рядъ паровыхъ цилиндровъ, поршней, маховиковъ, клапановъ и т. д., въ томъ числѣ также и для машинъ для доставанія руды. Съ 1819 г. заводъ „Gutehoffnung“, перешедшій въ 1808 г. отъ вдовы Круппа къ гг. Якоби, Ганіель и Гюйссенъ, предпринялъ подъ руководствомъ управляющаго заводомъ Бурга самъ постройку машинъ и первою выстроилъ для собственнаго завода прекрасную воздуходувную машину. Съ тѣхъ поръ фирма Якоби, Ганіель и Гюйссена посвятила себя постройкѣ паровыхъ машинъ, главнымъ образомъ для горныхъ цѣлей, и до настоящаго времени заводъ „Gutehoffnung“ остается однимъ изъ первыхъ въ этой отрасли машиностроенія.

Другой заводъ, также начавшій очень рано съ большими успѣхами постройку паровыхъ машинъ, главнымъ образомъ для вестфальскихъ рудниковъ, это Иссельбургскій заводъ Іоганна Неринга, Бёгеля и К°. при Эмпелѣ въ Нижнемъ Рейнѣ. Достойны удивленія тогдашніе пріемы постройки паровыхъ машинъ; имъ врядъ ли могутъ повѣрить современные техники. Техническихъ бюро въ теперешнемъ ихъ видѣ тогда не существовало, точные чертежи и планы не были извѣстны; тогда какъ теперь для каждой машины имѣются не только общіе чертежи, но и чертежи каждой отдѣльной части, по которымъ отдѣльныя части отливаются, выковываются и обработываются, а затѣмъ собираются по общимъ или сборочнымъ чертежамъ, въ то время на заводахъ эскизы данной части дѣлались прямо на доскѣ руководителемъ или начальникомъ мастерскихъ и по нимъ эти отдѣльныя части и изготовлялись; планъ же всей машины, особенности каждой отдѣльной части надо было дѣлать на память. Едва ли можно найти въ настоящее время, даже самого выдающагося инженера или начальника мастерскихъ, который въ состояніи былъ бы со всѣмъ этимъ справиться. И всетаки въ настоящее время машина еще „стучитъ“ послѣ сборки ея отдѣльныхъ частей.

Около того же времени какъ развилась въ Германіи постройка паровыхъ машинъ, шло развитіе и постройки **паровыхъ котловъ**. Первая

котельная мастерская, положившая начало для дальнѣйшаго развитія котельнаго производства въ Вестфаліи и имѣвшая, какъ и введеніе постройки паровыхъ машинъ, громаднѣйшее значеніе для всей страны, была основана въ Веттерѣ на Рурѣ Фр. Гаркортомъ, выдающимся депутатомъ и политикомъ, сдѣлавшимся извѣстнымъ и въ высшихъ сферахъ, вызвавшимъ къ жизни также первый заводъ для пудлингованія желѣза въ Вестфаліи. Слѣдуетъ упомянуть также англійскихъ предшественниковъ, такъ какъ котельное мастерство было еще совсѣмъ незнакомо нѣмецкимъ мастерамъ и постройка не пропускающаго пара парового котла считалась въ то время почти что фокусомъ. Въ Гаркортовскихъ котельныхъ мастерскихъ было подъ руководствомъ англійскихъ мастеровъ впервые установлено нѣмецкое котельное производство и рядъ послѣдующихъ выдающихся рейнскихъ и вестфальскихъ заводовъ, выдѣлывающихъ паровые котлы, вышелъ изъ этой школы.

Въ новѣйшее время паровыя машины получили свое дальнѣйшее развитіе главнымъ образомъ въ Англіи, Германіи, Франціи, Бельгіи, Сѣверной Америкѣ и Швейцаріи и были доведены до настоящей высокой степени совершенства. Слишкомъ далеко насъ завело бы только одно простое перечисленіе именъ выдающихся инженеровъ и машиностроительныхъ заводовъ, способствовавшихъ этому развитію. Слѣдуетъ только упомянуть, что введенныя американцемъ Корлисомъ, а въ Европѣ братьями Зульцеръ въ Винтертурѣ въ срединѣ шестидесятыхъ годовъ паровыя машины съ точнымъ клапаннымъ парораспредѣленіемъ произвели переворотъ въ современномъ машиностроеніи, въ особенности въ Германіи; первая паровая машина съ клапаннымъ парораспредѣленіемъ была построена бр. Зульцеръ въ 1867 году и была выставлена на тогдашней Парижской выставкѣ, гдѣ она обратила на себя большое и заслуженное вниманіе; вообще же она стала болѣе извѣстною, въ особенности въ Германіи, только послѣ Вѣнской выставки 1873 года; она послужила прототипомъ для большого числа машинъ съ точнымъ клапаннымъ парораспредѣленіемъ другихъ конструкцій.

Если мы посмотримъ на общее развитіе паровыхъ машинъ со времени Ватта, то, во первыхъ, мы должны отмѣтить повышеніе давленія пара, во вторыхъ введеніе машинъ высокаго давленія и отказъ при малыхъ машинахъ, а также и вообще въ нѣкоторыхъ особенныхъ случаяхъ, отъ холодильника. Увеличеніе давленія пара было необходимымъ послѣдствіемъ повысившихся требованій въ мощности, предъявляемыхъ къ паровымъ машинамъ; съ прежними паровыми машинами низкаго давленія нельзя было достигнуть такой мощности; уже при средней мощности по нашимъ понятіямъ такія машины становились слишкомъ большими по размѣрамъ. Чѣмъ выше давленіе пара, тѣмъ больше число лошадиныхъ силъ можно помѣстить въ данномъ котлѣ, — если умѣстно здѣсь это ненаучное выраженіе, — и получить ихъ при помощи машинъ данныхъ размѣровъ. На морскихъ пароходахъ въ новѣйшее время, по мѣрѣ того какъ требованія въ мощности все болѣе и болѣе увеличиваются, давленіе пара поднимаютъ до 12, 15 и даже 18 атмосферъ.

Въ принципъ дѣйствія паровыхъ машинъ со времени Ватта до новѣйшаго собственно не внесено никакихъ измѣненій; только въ послѣдніе годы сдѣланы попытки, или вѣрнѣе проведена съ успѣхомъ въ практику старая идея, пользоваться водянымъ паромъ какъ носителемъ и средствомъ для превращенія тепла и энергіи другимъ способомъ, чѣмъ это имѣетъ мѣсто въ теперешнихъ паровыхъ машинахъ; объ этомъ далѣе будетъ сказано болѣе подробно.

Прежде чѣмъ перейти къ болѣе подробному изложенію о паровыхъ машинахъ, слѣдуетъ сказать еще нѣсколько словъ о паровыхъ котлахъ, представляющихъ важную и существенную часть всякой паровой установки.

Паровые котлы и топка паровыхъ котловъ.

Ходъ развитія паровыхъ котловъ. Котлы съ большимъ резервуаромъ для воды и трубчатые котлы. Топка котловъ. Утилизація топлива. Газовая топка. Различные газообразные продукты горѣнія. Жидкія топлива. Системы паровыхъ котловъ. Цилиндрическій паровой котелъ. Котелъ съ циркуляціей воды. Котелъ съ жаровою трубою. Комбинированный котелъ съ жаровою трубою и съ галловеевскими трубами. Цилиндрическій котелъ съ кипятильниками. Батарейные котлы и ярусные. Комбинированный паровой котелъ съ дымогарными трубами. Локомобильный котелъ. Водотрубный котелъ. Комбинированный водотрубный котелъ. Вертикальный котелъ. Примѣненіе малоцѣннаго топлива. Воздуходувный приборъ для доставленія воздуха подъ рѣшетки топки. Топка угольною пылью. Котелъ съ нефтяною топкою. Принадлежности паровыхъ котловъ. Котельная накипь и средства противъ нея. Взрывы паровыхъ котловъ.

При самыхъ старыхъ паровыхъ машинахъ резервуаръ для полученія пара, какъ мы видѣли, былъ непосредственно соединенъ съ машиной. Ваттъ ихъ разъединилъ и впослѣдствіи помѣстилъ паровую машину въ отдѣльное отъ парового котла помѣщеніе. Съ давнихъ поръ, вообще, за немногими исключеніями принято устанавливать паровые котлы отдѣльно отъ паровыхъ машинъ. Два главнѣйшія исключенія, гдѣ котелъ и паровая машина неразрывно и органически связаны другъ съ другомъ, это локомотивы и локомобили. Причина для перваго сама собою понятна; для локомобилей это соединеніе также обусловливается цѣлями ихъ примѣненія: надо имѣть возможность пускать локомобили въ ходъ въ любой моментъ и въ любомъ мѣстѣ; для этого необходимо, чтобы рабочій паръ для машины доставлялся котломъ, помѣщеннымъ при машинѣ же. То же самое относится и къ паровымъ пожарнымъ трубамъ, паровымъ лебедкамъ и т. п.

Вмѣстѣ съ успѣхами въ построеніи паровыхъ машинъ усовершенствовались и улучшались и паровые котлы, съ одной стороны, относительно выполненія и конструкціи собственно котловъ, а также и отдѣльныхъ частей ихъ (принадлежности, арматура), съ другой стороны и относительно возможно лучшей утилизаціи топлива, т.-е. улучшалось устройство топки.

Съ введеніемъ паровыхъ машинъ высокаго давленія паровые котлы должны были удовлетворять требованію выдерживать большое внутреннее давленіе. До начала сороковыхъ годовъ довольствовались давленіемъ пара въ 3 атмосферы; въ настоящее время пользуются для заводскихъ котловъ по большей части давленіемъ въ 6—8 атмосферъ, для судовыхъ же котловъ низшею границею вообще считается 10 атмосферъ. Въ сороковыхъ годахъ, когда начали примѣняться бо̀льшія давленія пара, началась уже борьба между двумя совершенно различными системами котловъ, которая продолжается еще и до сихъ поръ, именно, между котлами съ большимъ содержаніемъ воды и трубчатыми котлами. Этимъ уже сейчасъ же намѣчается главное подраздѣленіе паровыхъ котловъ; къ первымъ принадлежатъ обыкновенные горизонтальные цилиндрическіе котлы, такъ называемые комбинированные цилиндрическіе котлы, именно, паровые котлы съ противотоками и съ кипятильниками и котлы съ жаровыми трубами. Обыкновенные котлы съ большимъ содержаніемъ воды по конструкціи и по уходу за ними проще трубчатыхъ котловъ; при большомъ количествѣ сильно нагрѣтой воды они могутъ, въ необходимыхъ случаяхъ, развивать очень быстро большія количества пара, что имѣетъ большое значеніе при перемѣнномъ потребленіи пара; при простотѣ своего устройства они требуютъ только рѣдкихъ исправленій. Но именно въ этомъ ихъ преимуществѣ — большомъ количествѣ воды и большомъ паровомъ пространствѣ — лежитъ и ихъ слабая сторона, именно, большая опасность взрыва при высокомъ давленіи; возможность взрыва, какъ показываетъ опытъ, не можетъ быть безусловно исключена даже лучшимъ ихъ устройствомъ, выполненіемъ и соблю-

деніемъ всѣхъ правилъ предосторожности; разрушающія дѣйствія такого взрыва при котлѣ съ большимъ содержаніемъ воды значительно сильнѣе, чѣмъ при трубчатомъ котлѣ. Появленіе водотрубныхъ котловъ относится ко времени развитія паровыхъ машинъ высокаго давленія; но они опять скоро исчезли, такъ какъ ихъ преимущества, заключающіяся въ малой опасности взрыва, значительно уменьшались многими другими неудобствами; конструкція ихъ была несовершенна, такъ какъ трубы и скрѣпленія ихъ слишкомъ скоро портились, вслѣдствіе чего требовались частыя и дорого стоющія исправленія, нарушавшія правильную службу котловъ; въ этихъ котлахъ недоставало необходимаго запаса воды и пара, которыя имѣлись въ достаточномъ количествѣ въ котлахъ съ большимъ содержаніемъ воды; при сколько нибудь сильной работѣ котла паромъ увлекалась въ водотрубныхъ котлахъ вода и попадала въ паровую машину, что имѣло вредныя послѣдствія для паровыхъ машинъ. Въ болѣе новое время, лѣтъ 20 тому назадъ, съ переходомъ къ компаундъ-машинамъ многократнаго расширенія и съ примѣненіемъ болѣе высокихъ давленій, свыше 6 до 10, 12 атмосферъ водотрубные котлы опять выступили на передній планъ; болѣе новыя конструкціи, отчасти значительно улучшенныя, отчасти совсѣмъ новыя должны были прежде, да и теперь еще, преодолѣвать старое, еще не вполнѣ побѣжденное, не имѣющее никакого основанія, недовѣріе; однако они проложили себѣ путь и часто примѣняются съ успѣхомъ, въ особенности при высокихъ давленіяхъ пара. Въ особенности съ начала девятидесятыхъ годовъ прошлаго столѣтія усилилась ожесточенная борьба между ними и котлами съ большимъ содержаніемъ воды. Опытъ показалъ, что и при невзрывающихся котлахъ могутъ быть несчастные случаи вслѣдствіе лопанья трубъ для воды, отъ чего страдаетъ находящійся непосредственно у котла рабочій персоналъ, даже могутъ быть убитые, но несчастные случаи, захватывающіе большое пространство, разрушеніе всего окружающаго — при нихъ исключаются. Вслѣдствіе этого, а также вслѣдствіе того, что водотрубные котлы на опредѣленную мощность занимаютъ меньшее пространство, они пригодны въ особенности для установокъ въ густо населенныхъ частяхъ города, точно также при ограниченности помѣщеній; съ другой стороны нынѣ и котлы съ большимъ содержаніемъ воды устраиваются на очень высокія давленія пара, болѣе чѣмъ до 12 атмосферъ; такъ какъ изъ обѣихъ системъ котловъ безъ сомнѣнія каждая имѣетъ опредѣленныя преимущества, то нельзя указать, чтобы одна изъ нихъ была вообще безусловно лучшею для всѣхъ случаевъ; и въ будущемъ, навѣрное, не случится того, чтобы одна система постоянно находила всеобщее примѣненіе, а другая была совершенно вытѣснена; современные водотрубные котлы находятся еще на пути усовершенствованія и навѣрное улучшеніями въ конструкціи будутъ уничтожены или уменьшены многіе еще существующіе въ нихъ недостатки.

Особое вниманіе обращено въ послѣднее время на хорошую и раціональную топку, для достиженія возможно совершенной утилизаціи топлива. Въ то время какъ уже давно и, какъ увидимъ далѣе, вполнѣ успѣшно было обращено вниманіе на усовершенствованіе паровыхъ машинъ въ этомъ отношеніи, т. е. на достиженіе возможно меньшаго потребленія пара, только приблизительно съ начала восьмидесятыхъ годовъ начали вообще стремиться также и при образованіи пара, т. е. при топкѣ паровыхъ котловъ утилизировать возможно лучше теплотворную способность топлива. Изъ теплоты горѣнія каменнаго угля, главнаго топлива паровыхъ котловъ, въ Европѣ, за исключеніемъ только богатыхъ нефтью мѣстностей Россіи, на полученіе пара расходуется всегда только извѣстная часть ея, которая и передается паровой машинѣ. Даже при совершенномъ сгораніи угля нельзя избѣгнуть потери тепла на лучеиспусканіе; далѣе, тепло постоянно теряется съ выдѣляющимися

черезъ дымовую трубу горячими газообразными продуктами горѣнія. Соотвѣтственнымъ изолированіемъ котла потеря на лучеиспусканіе можетъ быть немного уменьшена, а цѣлесообразной конструкціей котла, главнымъ образомъ дымоходовъ, можно понизить температуру выходящихъ газовъ настолько, чтобы она была только достаточною для полученія требуемой тяги. Больше этихъ бываютъ потери тепла отъ неправильнаго веденія процесса горѣнія, могущія происходить отъ несовершеннаго устройства топки или нераціональнаго пользованія ею. Здѣсь имѣютъ мѣсто два случая: неполное сгораніе и излишекъ въ притокѣ воздуха. При слишкомъ маломъ притокѣ воздуха или при слишкомъ низкой температурѣ не происходитъ полнаго сгоранія угля. Уголь при сгораніи превращается сперва въ окись углерода, и, если не подводится достаточнаго для сгоранія количества воздуха, то этотъ газъ удаляется черезъ дымовую трубу, заключая въ себѣ большое количество не утилизированной скрытой теплоты; это имѣетъ мѣсто, если температура топки не достаточно высока для сжиганія окиси углерода. Въ *большинствѣ случаевъ, также и при многихъ опытахъ съ такъ называемыми* „дымогарными топками“ воздуха подводится достаточно, но онъ охлаждаетъ горючіе газы (окись углерода) до температуры, низшей температуры ихъ воспламененія, причемъ окись углерода въ смѣси съ воздухомъ удаляется, не сгорая. Съ другой стороны, при совершенномъ сгораніи избытокъ воздуха вреденъ, такъ какъ онъ отнимаетъ тепло отъ горючихъ газовъ и безполезно проходитъ черезъ дымоходы и кромѣ того вредитъ тягѣ. Вопросомъ о наилучшей утилизаціи топлива, о бездымномъ сжиганіи, съ нѣкотораго времени занимаются весьма много; вопросъ этотъ имѣетъ большое значеніе для техники и для общественной экономической жизни, такъ какъ, не считая большаго экономическаго значенія, вопросъ этотъ имѣетъ вообще важное значеніе вслѣдствіе увеличивающагося съ ростомъ промышленности въ городахъ и становящагося невыносимымъ въ фабричныхъ городахъ загрязненія ихъ дымомъ и сажей. Начиная съ середины восьмидесятыхъ годовъ, изобрѣтено большое число новыхъ конструкцій топокъ, дающихъ бездымное и безъ выдѣленія сажи, полное сжиганіе и благодаря этому хорошо утилизирующихъ топливо. Нѣкоторыя попытки и конструкціи признаны уже ошибочными въ самомъ ихъ принципѣ, еще бо́льшая часть, хотя и основанныхъ на вѣрныхъ теоретическихъ основаніяхъ, признаны практически непримѣнимыми; тѣмъ не менѣе въ послѣднее десятилѣтіе въ этой области сдѣланы значительные успѣхи и постоянно достигаются новые успѣхи техниками въ устройствѣ топокъ. Различныя конструкціи, дающія хорошіе результаты, введены въ практику и большинство извѣстныхъ фабрикъ паровыхъ котловъ имѣютъ свои собственныя системы „дымогарныхъ топокъ“; было бы слишкомъ долго останавливаться на этомъ подробнѣе; нѣкоторыя изъ подобныхъ топокъ будутъ описаны далѣе.

Дѣйствительно совершеннаго, отвѣчающаго теоретическимъ требованіямъ бездымнаго сжиганія безъ вреднаго излишка въ притокѣ воздуха даже и при лучшихъ устройствахъ топокъ, при твердомъ топливѣ, достигнуть нельзя; оно достижимо только при газообразномъ топливѣ. Мы вкратцѣ здѣсь опишемъ примѣненіе таковаго для технической топки, спеціально для паровыхъ котловъ. Въ данномъ случаѣ задача полнаго бездымнаго сожиганія теоретически и практически рѣшена уже давно; при этой топкѣ хорошо смѣшиваютъ извѣстное количество газообразнаго топлива съ извѣстнымъ, вполнѣ опредѣленнымъ количествомъ воздуха и сжигаютъ ихъ, причемъ получаются только газообразные окончательные продукты горѣнія — углекислота и вода, безъ малѣйшаго образованія дыма; такимъ способомъ по сгораніи получается наибольшее возможное количество тепла. Покойный великій Вернеръ фонъ-Сименсъ уже много лѣтъ тому назадъ указывалъ на возможность полнаго

вытѣсненія твердаго топлива газообразнымъ, какъ на желательный въ будущемъ идеалъ топлива, и своими выдающимися работами въ этой области много способствовалъ приближенію къ нему. Пока достиженіе на практикѣ этой цѣли представляетъ задачу будущаго, главнымъ образомъ изъ-за экономическихъ соображеній. Несмотря на большія преимущества газовой топки съ технической точки зрѣнія, въ большинствѣ случаевъ, непремѣнно почти всегда для паровыхъ котловъ, она обходится значительно дороже въ сравненіи съ топкой углемъ, даже при технически несовершенномъ его сгораніи. Въ отдѣльныхъ случаяхъ, наоборотъ, тамъ, гдѣ необходимо большое и равномѣрное нагрѣваніе, топка газомъ примѣняется часто уже съ давнихъ поръ, напр., въ желѣзодѣлательномъ производствѣ, въ печахъ для пудлингованія желѣза, въ сварочныхъ, въ ретортныхъ печахъ на газовыхъ заводахъ и въ стеклоплавильныхъ печахъ.

Для топки газомъ при техническихъ производствахъ конечно не пригоденъ дорогой каменноугольный или свѣтильный газъ городскихъ газовыхъ сѣтей; для этихъ цѣлей примѣняютъ **генераторный или водяной газъ**, — послѣдній особенно въ большихъ размѣрахъ въ Америкѣ,—и еще лучше **водяной генераторный газъ или углекислый генераторный газъ.**

При топкахъ газомъ эти газы предварительно добываются въ большихъ размѣрахъ и затѣмъ проводятся въ топку.

Обыкновенный генераторный газъ получается при неполномъ сгораніи угля. Наполняютъ углемъ высокую вертикальную шахту и поджигаютъ его снизу; при сгораніи нижнихъ слоевъ получается окись углерода и двуокись углерода (углекислота); послѣдняя, при проходѣ черезъ нижніе накаленные слои угля, опять соединяется съ углеродомъ и также переводится въ окись углерода. Окись углерода проводится изъ генератора вмѣстѣ съ требуемымъ количествомъ воздуха въ топку, гдѣ при вторичномъ примѣшиваніи воздуха сжигается. Теплота горѣнія окиси углерода меньше таковой же угля; соединеніе это „экзотермическое", т. е. оно получено при начальномъ несовершенномъ сгораніи угля, вслѣдствіе чего образовавшіеся генераторные газы имѣютъ очень высокую температуру (около 2000°); когда нагрѣтый генераторный газъ непосредственно примѣняется при этой высокой температурѣ, т. е. поступаетъ непосредственно изъ генератора въ топку, какъ это имѣетъ мѣсто въ генераторныхъ печахъ для производства свѣтильнаго газа, тогда и эта теплота соединенія утилизируется; когда же газъ проводится по длиннымъ трубопроводамъ и еще собирается въ запасные резервуары, тогда эта часть теплоты горѣнія угля, равная около 30% всей теплоты горѣнія, теряется.

Обратное имѣетъ мѣсто при образованіи **водяного газа**; онъ получается при пропусканіи водяного пара черезъ накаленный уголь или коксъ, причемъ вода разлагается на свои составныя части—водородъ и кислородъ; послѣдній образуетъ съ углеродомъ окись углерода; водяной газъ представляетъ изъ себя такимъ образомъ смѣсь водорода и окиси углерода. При разложеніи водяного пара теплота поглощается и притомъ въ большемъ количествѣ, чѣмъ ея выдѣляется при одновременномъ образованіи окиси углерода; образованіе водяного газа поэтому—реакція эндотермическая, т. е. происходитъ съ поглощеніемъ тепла. Это количество тепла ему сообщается при предварительномъ нагрѣваніи угля; генераторъ долженъ быть разогрѣтъ, прежде чѣмъ начнется полученіе водяного газа, пропусканіемъ водяного пара. Водяной газъ поглощаетъ такимъ образомъ тепло и его теплотворная способность вслѣдствіе этого выше таковой же генераторнаго газа.

Соединеніемъ обоихъ процессовъ получается **водяной генераторный газъ**; развивающееся при образованіи генераторнаго газа тепло переводится въ полезное скрытое тепло или энергію тѣмъ, что подводятъ въ смѣси съ воздухомъ столько водяного пара, чтобы онъ благодаря избытку тепла превратился весь въ водяной газъ. Тепло, выдѣляющееся при экзотермическомъ процессѣ образованія генераторнаго газа, равное около 30% теплоты горѣнія угля, идетъ на эндотермическій процессъ образованія водяного газа и переводится такимъ образомъ въ видъ, удобный для дальнѣйшаго пользованія имъ. Это же происходитъ при образованіи **углекислаго генераторнаго газа**, гдѣ вмѣсто водяного пара въ генераторъ вмѣстѣ съ воздухомъ подводится углекислота и именно отходящіе горячіе

газы топки въ смѣси съ воздухомъ; горячіе газы переводятся накаленнымъ углемъ въ окись углерода, которая и смѣшивается съ остальнымъ генераторнымъ газомъ.

Не смотря на техническія преимущества примѣненія такихъ топокъ газомъ, для топки паровыхъ котловъ, какъ указано было ранѣе, примѣняется главнымъ образомъ уголь; какъ въ настоящее время, такъ въ ближайшемъ будущемъ, онъ будетъ примѣняться въ качествѣ промышленнаго топлива. *Только въ единичныхъ случаяхъ, при особенно благопріятныхъ условіяхъ* можетъ быть примѣняемъ газъ для нагрѣванія паровыхъ котловъ, если напр. горючіе газы могутъ быть получены очень дешево, какъ побочный продуктъ другого производства, напр. при коксованіи. Даже при очень большихъ производствахъ и при неблагопріятной утилизаціи угля вслѣдствіе несовершеннаго устройства топки вообще слѣдуетъ предпочитать въ экономическомъ отношеніи уголь топкѣ газомъ. Такъ проф. Ридлеръ указалъ, что въ одной большой американской установкѣ, гдѣ ежечасно сжигается громадное количество угля въ 80 000—120 000 кгр., согласно очень тщательнымъ опытамъ *при содѣйствіи спеціалистовъ доказано, что въ экономическомъ отношеніи* технически несовершенная угольная топка должна быть предпочтена далеко болѣе совершенной газовой топкѣ. Послѣ открытія въ Сѣверной Америкѣ по близости Питтсбурга и другихъ промышленныхъ городовъ большихъ естественныхъ источниковъ газа неоднократно высказывалось предположеніе, что во всемъ тамошнемъ промышленномъ районѣ уголь, какъ топливо, вскорѣ будетъ совершенно вытѣсненъ болѣе дешевымъ естественнымъ газомъ, подведеннымъ въ большихъ, длиною въ нѣсколько тысячъ метровъ, трубопроводахъ отъ источниковъ къ мѣстамъ потребленія; бóльшая часть большихъ желѣзодѣлательныхъ заводовъ и другія промышленныя установки примѣняютъ тамъ еще и теперь, какъ и прежде, въ качествѣ топлива уголь и тѣ заводы, которые нѣкоторое время тому назадъ ввели газовую топку, по большей части давно уже опять возвратились къ углю, такъ какъ работа съ нимъ обходится дешевле.

Жидкія топлива допускаютъ также лучшую ихъ утилизацію, чѣмъ твердыя; нефть, нефтяные остатки и т. п. въ соотвѣтствующихъ топкахъ сгораютъ вполнѣ, почти безъ дыма и копоти; но и эти топлива вообще не могутъ вступить съ экономической точки зрѣнія въ соревнованіе съ углемъ. Даже въ нефтеносныхъ районахъ, въ Бёффало и Кливлендѣ, гдѣ сырая нефть подводится отъ источниковъ по трубопроводамъ прямо въ промышленные районы, она находитъ примѣненіе для промышленной топки только въ сравнительно небольшомъ районѣ; даже большія нефтенапорныя станціи сами примѣняютъ уголь для топки своихъ котловъ. Только при особыхъ обстоятельствахъ нефть *можетъ замѣнить уголь; это имѣетъ мѣсто* напр. въ нефтеносныхъ мѣстностяхъ возлѣ Баку (въ Россіи); здѣсь уголь дорогъ, такъ какъ онъ доставляется сюда издалека, наоборотъ расходы по добычѣ сырой нефти, при малой сравнительно цѣнности земли и низкой заработной платѣ, очень невелики; поэтому здѣсь нефтяная топка введена на большомъ районѣ.

Особыя причины для примѣненія нефти и тому подобныхъ жидкихъ топливъ для топки паровыхъ котловъ имѣютъ мѣсто, если стремятся при небольшихъ топкахъ получить большое нагрѣваніе; для этой цѣли особенно пригодно жидкое топливо. Въ виду этого многія быстроходныя военныя суда, въ *особенности миноноски, истребители миноносокъ и т. д. снабжены* приспособленіями для топки нефтяными остатками (мазутомъ). Въ нѣмецкомъ морскомъ вѣдомствѣ топка мазутомъ введена послѣ успѣшныхъ опытовъ еще въ 1894 году; въ итальянскомъ и французскомъ морскихъ вѣдомствахъ подобные же опыты были произведены еще раньше. Устройства эти обыкновенно не замѣняютъ собою обыкновенной угольной топки; они скорѣе дол-

жны примѣняться въ исключительныхъ случаяхъ для увеличенія парообразованія и усиленія мощности машинъ, когда идетъ рѣчь объ исключительныхъ переходахъ съ наибольшею возможною скоростью. Топка нефтью или мазутомъ имѣетъ значительно большую нагрѣвательную способность, чѣмъ угольная топка; она почти совсѣмъ бездымна и уходъ за нею значительно проще и удобнѣе, такъ что при ней кочегару предъявляются гораздо меньшія требованія. О топкѣ котловъ, приспособленныхъ къ топкѣ нефтью, будетъ сказано еще далѣе.

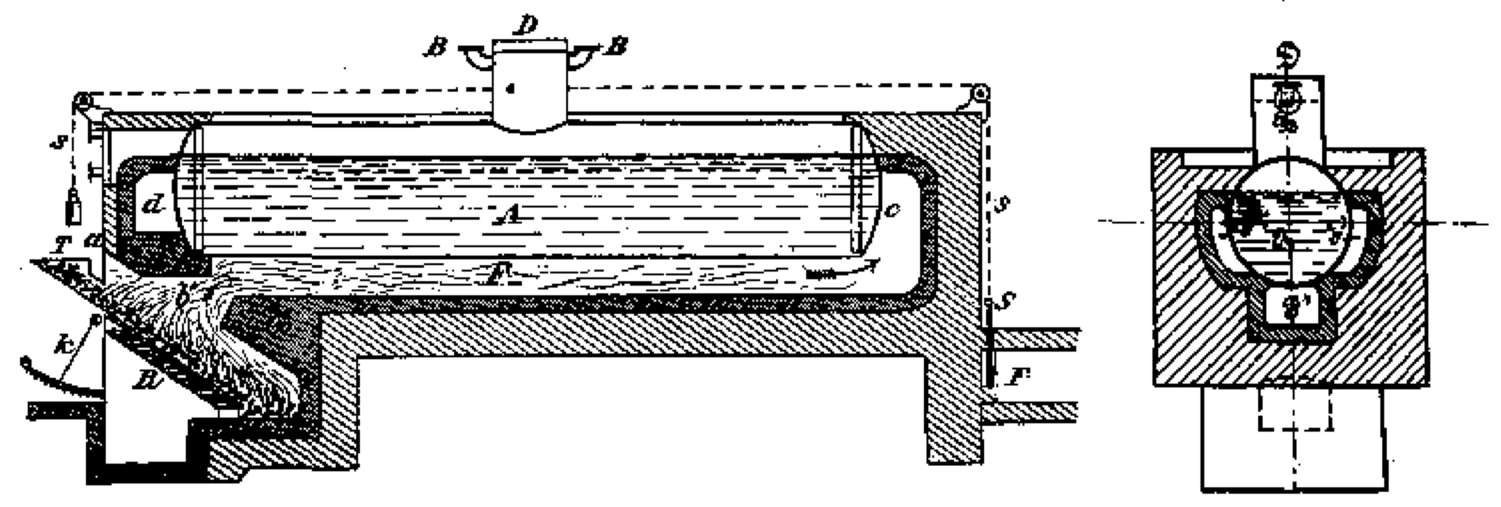
Возвратимся послѣ этого отступленія къ конструкціи самыхъ паровыхъ котловъ.

Различныя системы паровыхъ котловъ.

Трудно и едва ли возможно дать систематическую и подробную классификацію паровыхъ котловъ, такъ какъ при этомъ слѣдуетъ принять во вниманіе многія обстоятельства, относящіяся до способа ихъ дѣйствія, способа ихъ постройки и ихъ конструкція; исходя изъ различныхъ точекъ зрѣнія, можно установить для паровыхъ котловъ различныя подраздѣленія, изъ которыхъ каждое имѣетъ свое право на существованіе. Наоборотъ совершенно невозможно, принимая во вниманіе всѣ эти точки зрѣнія, всѣ важные признаки различныхъ системъ и конструкцій паровыхъ котловъ удовлетворительно охватить подробнымъ подраздѣленіемъ. Въ виду этого мы отказываемся отъ систематической классификаціи и опишемъ наиболѣе важныя системы паровыхъ котловъ.

Чаще всего употребляются горизонтальные паровые котлы; самый простой видъ ихъ представляетъ цилиндрическій котелъ. Рис. 847 представляетъ его схематически въ продольномъ разрѣзѣ, рис. 848—въ поперечномъ разрѣзѣ. *A* — цилиндрическій котелъ съ выпуклыми передней и задней стѣнками и съ паровымъ колпакомъ или сухопарникомъ *D*; въ послѣднемъ собирается паръ, проводимый къ паровымъ машинамъ черезъ одинъ изъ двухъ патрубковъ *B*; съ другимъ патрубкомъ соединенъ предохранительный клапанъ, о которомъ, какъ и объ остальныхъ принадлежностяхъ паровыхъ котловъ, будетъ сказано далѣе. Изображенный на рисункѣ котелъ вполнѣ задѣланъ въ кладку и снабженъ наклонною ступенчатою рѣшеткою *R*; уголь загружается черезъ воронку *T* сверху, такъ что вся рѣшетка покрыта имъ до извѣстной высоты; черезъ щели рѣшетки къ углю имѣетъ доступъ атмосферный воздухъ; по мѣрѣ того, какъ послѣдній сгораетъ, свѣжій уголь соскальзываетъ сверху; съ нижней части рѣшетки, гдѣ наибольшее накаливаніе, пламя поднимается подъ наклоннымъ, устроеннымъ изъ огнеупорнаго матеріала (шамотовый кирпичъ), сводомъ *G* вверхъ нѣсколько впередъ въ направленіи стрѣлки; изъ лежащаго выше еще не горящаго угля выдѣляется окись углерода; послѣдняя такъ нагрѣвается идущими снизу раскаленными газообразными продуктами горѣнія, что вмѣстѣ съ протекающимъ черезъ верхнее отверстіе *a* воздухомъ сгораетъ въ углекислоту. Изъ топки горячіе газы черезъ отверстіе *b* въ сводѣ поступаютъ въ первый дымоходъ F' подъ котломъ и идутъ по нему въ заднюю часть, поступаютъ тамъ въ *c* въ боковой дымоходъ F'' и идутъ сбоку котла впередъ, затѣмъ черезъ соединеніе *d* на передней сторонѣ котла проходятъ по F''' опять въ заднюю часть котла и черезъ боровъ поступаютъ въ дымовую трубу. Горячіе газы проходятъ такимъ образомъ тройной путь подъ котломъ и съ боковъ его и отдаютъ здѣсь свое тепло стѣнкамъ котла, передаваемое послѣдними водѣ. Дымоходы расположены такъ, что горячіе газы нигдѣ не соприкасаются со стѣнками котла выше поверхности воды въ котлѣ при самомъ низшемъ ея положеніи; котелъ благодаря этому нигдѣ не можетъ чрезмѣрно нагрѣваться, такъ какъ стѣнки котла излишекъ тепла сейчасъ же отдаютъ водѣ. Всѣ дымоходы выложены

огнеупорнымъ матеріаломъ изъ шамота, что обозначено на рисункѣ особой штриховкой. Топка регулируется притокомъ воздуха или непосредственной установкой зольниковой дверцы k, которою болѣе или менѣе открывается отверстіе для притока воздуха подъ рѣшетку, или лучше регулированіемъ тяги посредствомъ задвижки S въ боровѣ, мѣняющей смотря по надобности, сѣченіе борова. Эта задвижка можетъ приводиться въ дѣйствіе кочегаромъ съ передней стороны котла посредствомъ цѣпи s, перекинутой на блокахъ. Простые цилиндрическіе котлы занимаютъ слишкомъ много мѣста; они требуютъ много

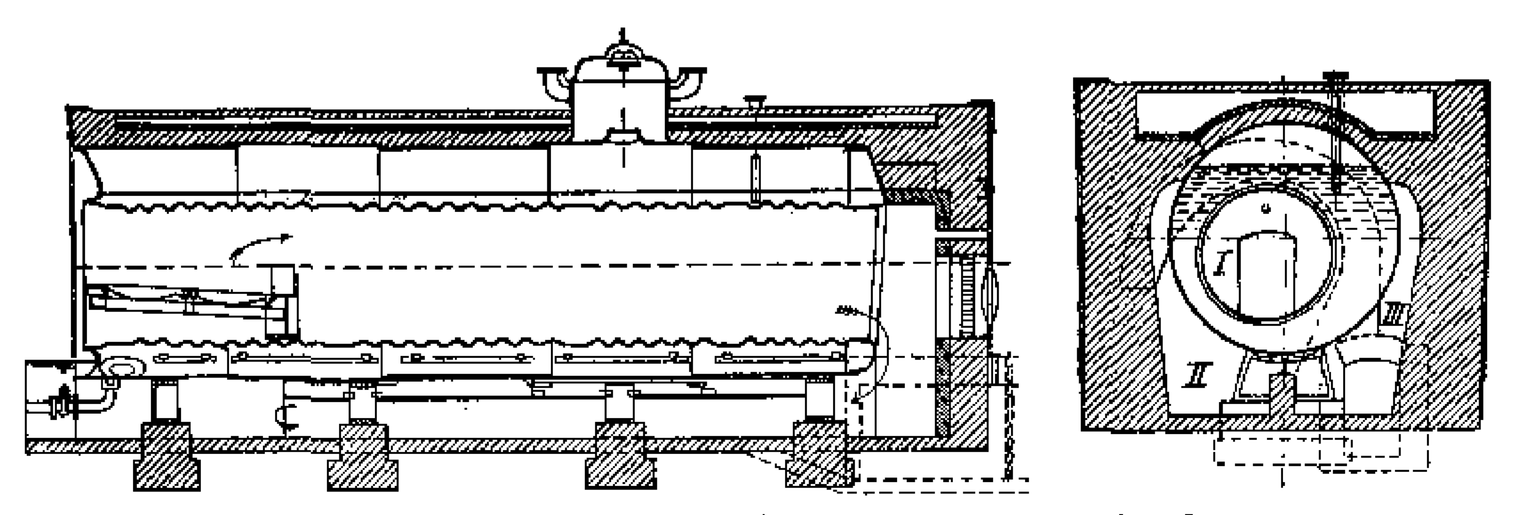


847. Продольный разрѣзъ. 848. Поперечный разрѣзъ

847 и 848. Простой цилиндрическій котелъ.

каменной кладки и на большихъ установкахъ не отвѣчаютъ современнымъ требованіямъ; вслѣдствіе этого они все болѣе и болѣе вытѣсняются котлами болѣе новыхъ и лучшихъ конструкцій.

Самое простое видоизмѣненіе обыкновеннаго цилиндрическаго котла представляетъ **котелъ съ жаровою трубою**; въ немъ первый дымоходъ проходитъ внутри самаго котла; если топка помѣщена въ этомъ дымоходѣ, то такой котелъ называется котломъ съ жаровою трубою и съ внутренней

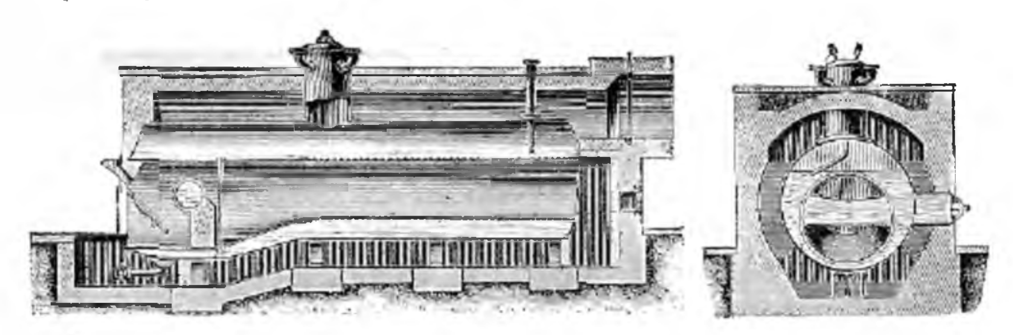


849 и 850. Котелъ съ жаровою трубой изъ волнистаго желѣза Фокса.

топкой или **корнваллійскимъ**, рис. 849 и 850. Горячіе газы отъ рѣшетки (колосниковъ), лежащей въ передней части жаровой трубы, идутъ сперва назадъ черезъ жаровую трубу, оттуда, какъ въ котлѣ, изображенномъ на рисункѣ 847, черезъ дымоходъ по одной сторонѣ котла впередъ и затѣмъ по другой сторонѣ опять назадъ, гдѣ они поступаютъ въ боровъ. Направленіе тяги на рисункѣ, представляющемъ продольный разрѣзъ, обозначено стрѣлками; на рис., представляющемъ поперечный разрѣзъ, I представляетъ первый дымоходъ (жаровую трубу), II и III оба боковые дымохода, лежащіе между обмуровкой и котломъ; внизу они раздѣлены перегородкой, имѣющей только спереди отверстіе для перехода горячихъ газовъ изъ лѣваго дымохода въ правый. На изображенномъ котлѣ жаровая труба сдѣлана изъ вол-

пистаго желѣза; эти такъ называемыя **волнистыя трубы Фокса**, изготовляемыя, какъ и весь котелъ желѣзопрокатнымъ заводомъ Акціонернаго общества Шульцъ-Кнаудтъ въ Эссенѣ на Рурѣ, получаютъ въ новѣйшее время чрезвычайно широкое примѣненіе, такъ какъ онѣ имѣютъ нѣкоторое преимущество передъ обыкновенными жаровыми трубами изъ гладкаго желѣза. Онѣ болѣе противостоятъ сдавливанію, котораго слѣдуетъ опасаться для такихъ трубъ при высокихъ давленіяхъ въ котлѣ; далѣе онѣ упруги (эластичны), благодаря чему уменьшается вредное дѣйствіе давленія на днище котла, которое имѣетъ мѣсто при гладкихъ трубахъ вслѣдствіе происходящаго продольнаго ихъ расширенія при нагрѣваніи; наконецъ трубы изъ волнистаго желѣза при одинаковой величинѣ, благодаря большой поверхности нагрѣва, развиваютъ больше пара и слѣдовательно имѣютъ большую мощность, чѣмъ гладкія жаровыя трубы. Котлы съ гофрированными трубами строятся Шульцъ-Кнаудтъ на давленія до 12 атмосферъ.

При котлахъ съ жаровою трубою теплота утилизируется хорошо благодаря тому, что топка и первый дымоходъ, т. е. именно тѣ части котла, въ

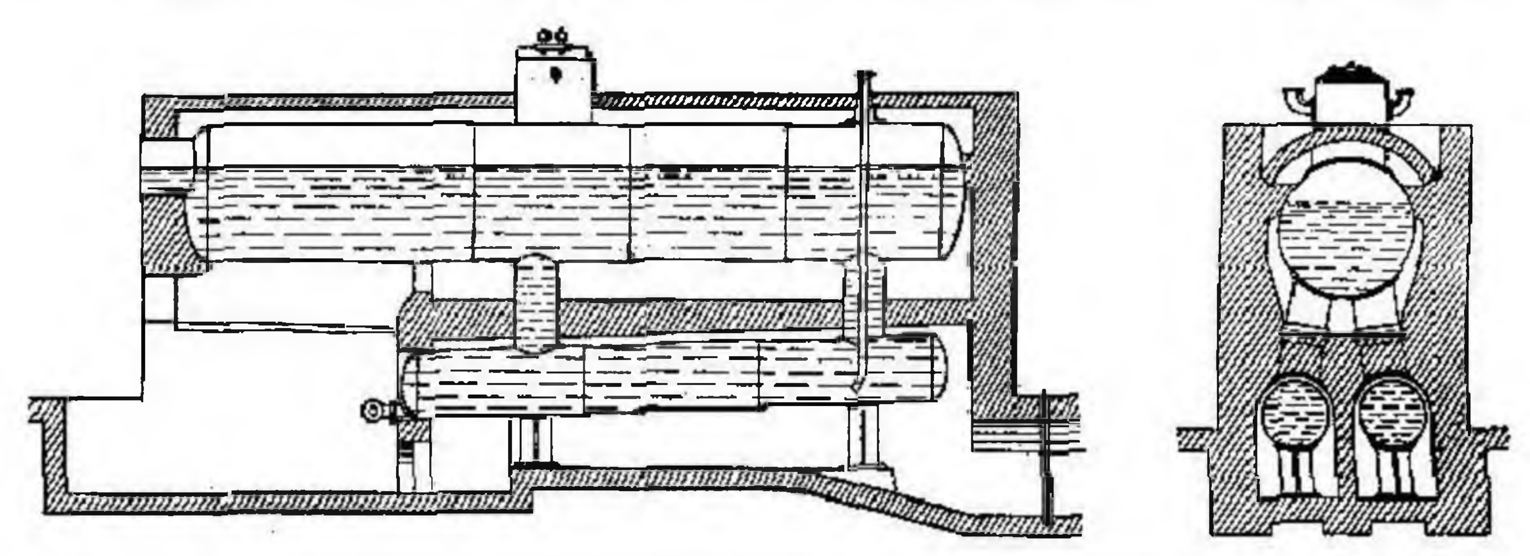


851 и 852. Котелъ съ жаровою трубою съ дымогарною топкою системы Кука.

которыхъ развивается высшая температура, лежатъ внутри самого котла и такимъ образомъ со всѣхъ сторонъ окружены водой, тогда какъ при внѣшней топкѣ накаленный уголь наивысшей температуры нагрѣваетъ рѣшетки, зольникъ и кладку топки и такимъ образомъ тепло отчасти теряется. Съ другой стороны, конечно, котелъ съ жаровою трубою съ внутреннею топкою вслѣдствіе того, что часть трубы, подверженная наибольшему непосредственному нагрѣванію, именно передняя верхняя часть жаровой трубы, имѣетъ надъ собою самую меньшую высоту воды, подверженъ большой опасности взрыва, такъ какъ при опусканіи воды (вслѣдствіе небрежности кочегара или вслѣдствіе неправильныхъ показаній водомѣрныхъ трубокъ, что можетъ случиться вслѣдствіе засоренія крановъ водомѣрныхъ трубокъ) ниже допустимаго нижняго предѣла труба сверху обнажится, накалится и дастъ условія для взрыва. Существуютъ также котлы съ двумя расположенными рядомъ жаровыми трубами; если они имѣютъ внутреннія топки, то называются котлами съ двойною жаровою трубою или **ланкаширскими котлами**.

Рис. 851 и 852 представляютъ котелъ съ жаровою трубою и съ дымогарною топкою **системы Куна** (Штутгартъ-Бергъ). Для сжиганія дыма въ системѣ примѣняется наклонная рѣшетка (колосники) Тенбринка, подобная изображенной на рис. 847 для цилиндрическаго котла; она примѣнима при самыхъ разнообразныхъ системахъ котловъ, какъ при топкѣ спереди или подъ котломъ, такъ и при внутренней топкѣ. Наклонъ рѣшетки дѣлается сообразно свойствамъ топлива; при этомъ съ одной стороны должно быть достигнуто равномѣрное поступленіе топлива, съ другой стороны предотвращено попаданіе холоднаго воздуха въ пространство надъ рѣшеткою. Для притока воз-

духа въ пространство надъ рѣшеткой, необходимаго для полнаго сгоранія выдѣляющихся горючихъ газовъ, устроенъ у воронки для засыпки угля регулируемый заслонъ (дверцы). Въ котлахъ съ жаровою трубою и съ внутренною топкою (рис. 851 и 852) гладкая или изъ волнистаго желѣза жаровая труба съ передней стороны настолько расширена, что въ ней могутъ помѣститься наклонная рѣшетка и поперечная труба въ видѣ огненнаго моста; поперечная труба соединена съ котломъ, и такимъ образомъ наполнена водою; послѣдняя представляетъ весьма значительное увеличеніе поверхности нагрѣва. Горячіе газы обходятъ ее и затѣмъ проходятъ по жаровой трубѣ въ заднюю ея часть, по промежуточному пространству между котломъ и обмуровкой снизу котла впередъ, причемъ они отклоняются отъ верхней части чугунными пластинами, помѣщенными на извѣстной высотѣ между обмуровкой и оболочкой парового котла, затѣмъ поднимаются спереди наверхъ и идутъ надъ этими пластинами въ пространствѣ въ видѣ свода надъ котломъ назадъ въ боровъ. Рѣшетка по всей длинѣ и ширинѣ спереди совсѣмъ открыта, такъ что воздухъ можетъ поступать къ ней вполнѣ безпрепятственно, вслѣдствіе



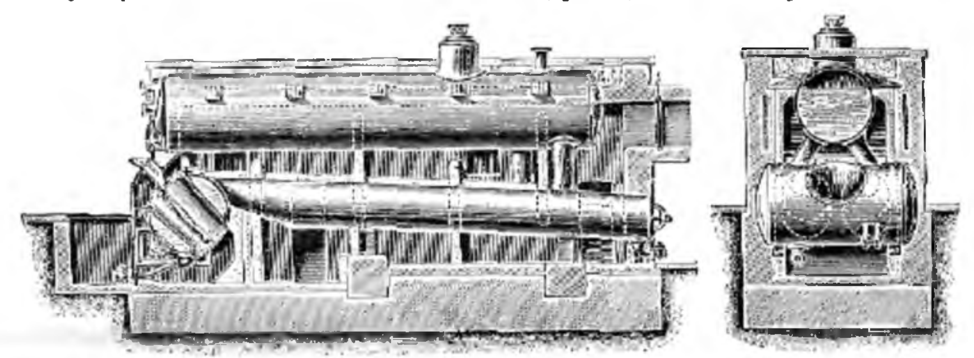
853 и 854. **Цилиндрическій котелъ съ двумя подогрѣвателями.**

чего колосники безпрерывно охлаждаются, какъ и при обыкновенныхъ горизонтальныхъ колосниковыхъ рѣшеткахъ.

Для лучшей утилизаціи тепла отходящихъ газовъ въ послѣднемъ дымоходѣ обыкновенно при цилиндрическихъ котлахъ, а также и при котлахъ съ жаровою трубою, располагаютъ въ нихъ въ длину одинъ или два подогрѣвателя питательной воды, большія желѣзныя трубы, черезъ которыя заставляютъ проходить питательную воду прежде ея поступленія въ котелъ; такимъ образомъ она уже въ подогрѣвателяхъ нагрѣвается до высокой температуры. Подогрѣватели можно располагать горизонтально надъ главнымъ котломъ или подъ нимъ; послѣднее расположеніе показано на рис. 853 и 854 для цилиндрическаго котла въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ.

Подобную же конструкцію имѣетъ изображенный на рис. 855 и 856 циркуляціонный котелъ съ дымогарной топкой Тенбринка (Куна въ Штуттгартѣ-Бергѣ). Онъ состоитъ изъ одного верхняго котла съ расположенной подъ нимъ дымогарной топкой Тенбринка и одного или двухъ склепанныхъ съ нимъ нижнихъ котловъ, соединенныхъ съ верхнимъ котломъ при помощи соединительныхъ патрубковъ такимъ образомъ, что они нѣсколько приподняты спереди и образующіеся въ нихъ пузырьки пара могутъ спокойно подниматься черезъ пространство, окружающее топку Тенбринка, въ верхній котелъ. Здѣсь нижній котелъ не представляетъ изъ себя подогрѣвателя; питаніе котловъ чаще въ нихъ производится сверху; нижній котелъ способствуетъ циркуляціи воды въ котлѣ, благодаря чему вода движется мимо нагрѣтыхъ поверхностей стѣнокъ котла и отнимаетъ отъ нихъ

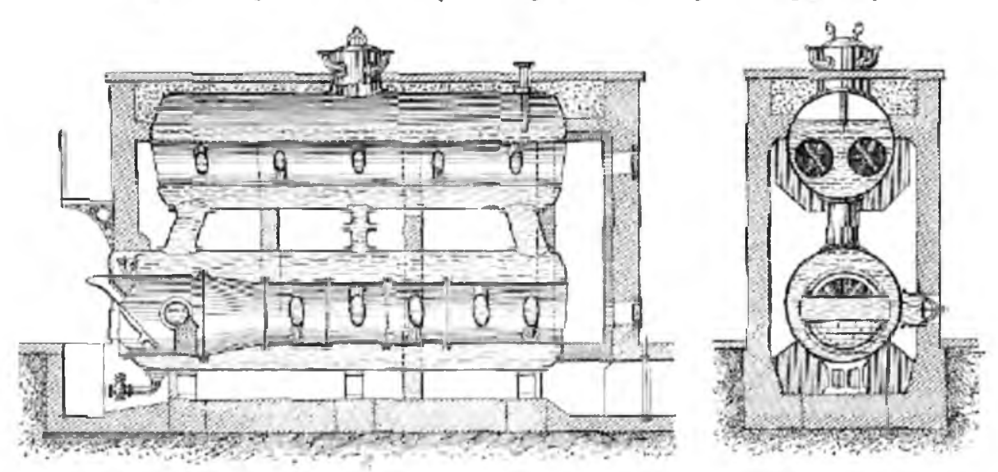
теплоту; этимъ избѣгается вредная большая разница въ температурѣ въ *различныхъ частяхъ котла. Топка вполнѣ окружена нагрѣваемыми поверхностями*, вездѣ соприкасающимися съ водою, и по своему дѣйствію аналогична внутренней топкѣ; горячіе газы поднимаются по топкѣ Тенбринка вверхъ, идутъ снизу вдоль верхняго котла и спускаются сзади внизъ къ нижнему котлу; при одномъ нижнемъ котлѣ, они идутъ вдоль его впередъ и затѣмъ



855 и 856. **Циркуляціонный котелъ съ дымогарной топкой Тенбринка системы Г. Куна въ Штутгартѣ.**

сбоку въ боровъ; при двухъ нижнихъ котлахъ послѣдніе раздѣлены перегородкой и нагрѣтые газы идутъ вдоль одного впередъ и затѣмъ вдоль другого котла опять назадъ въ боровъ.

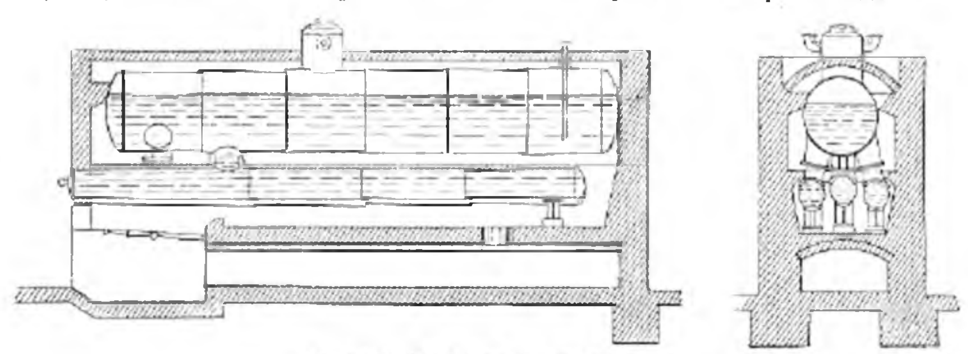
Въ обыкновенныхъ жаровыхъ трубахъ, какъ и въ трубахъ изъ волнистаго желѣза, горячіе газы идутъ спереди назадъ равномѣрно строго па-



857 и 858. **Комбинированный котелъ съ жаровою трубою и съ галловеевскими трубами.**

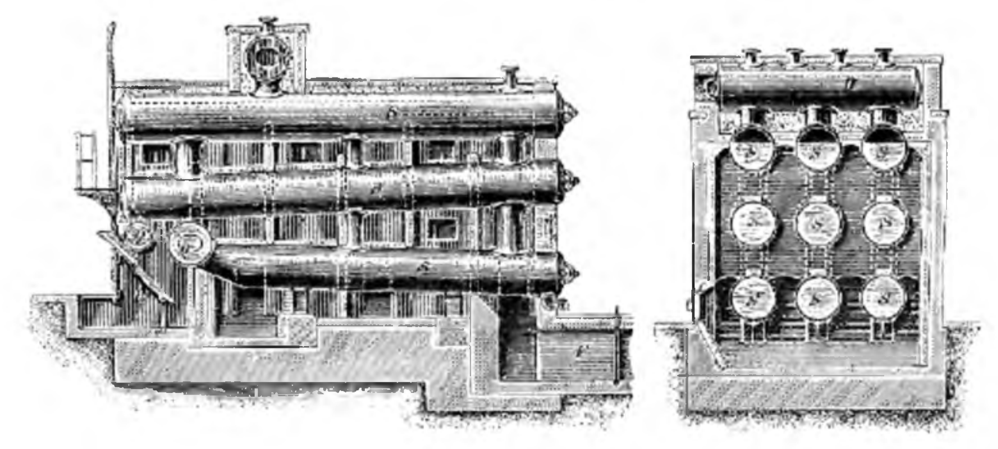
раллельными пучками; только газы, непосредственно касающіеся стѣнокъ котла, отдаютъ имъ свое тепло, тогда какъ средняя часть нагрѣтаго потока дѣйствуетъ на нагрѣваемыя поверхности только лучеиспусканіемъ и при посредствѣ окружающаго её газа. Чтобы привести весь потокъ газа въ непосредственное соприкосновеніе съ поверхностью нагрѣва, соприкасающеюся въ свою очередь съ водою, и такимъ образомъ лучше и экономичнѣе утилизировать тепло, устраиваются въ жаровыхъ трубахъ поперечные кипятильники, названные по имени ихъ изобрѣтателя Галловеевскими трубами; они представляютъ изъ себя патрубки, идущіе поперекъ жаровой

трубы и соединенные съ обѣихъ сторонъ плотно съ котломъ. Такими Галловеевскими трубами снабженъ **комбинированный паровой котелъ** съ жаровою трубою Г. Купа (рис. 857 и 858). Этотъ котелъ скомбинированъ изъ одного нижняго и одного верхняго котла; первый имѣетъ одну, послѣдній двѣ лежащія рядомъ жаровыя трубы; топка представляетъ изъ себя уже описанную ранѣе наклонную внутреннюю топку. Въ жаровой трубѣ установлено пять расположенныхъ попеременно накрестъ одинъ къ



859 и 860. Котелъ съ кипятильниками.

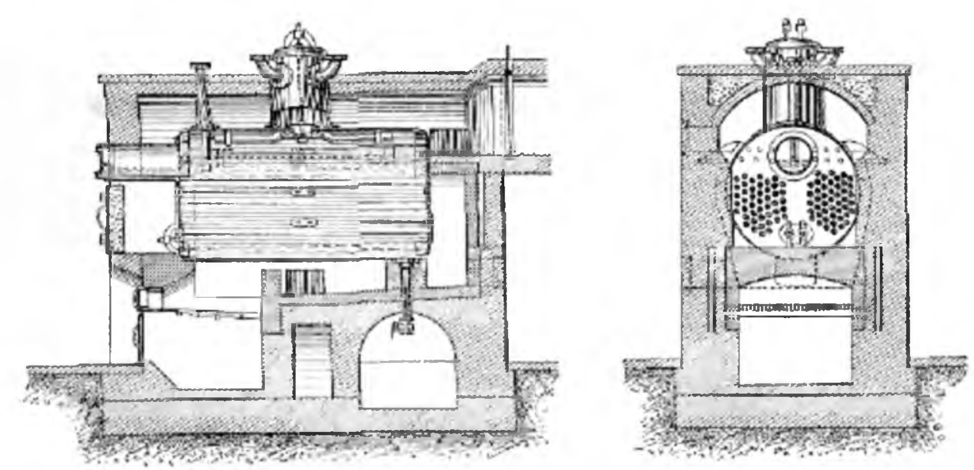
другому наклонныхъ поперечныхъ кипятильниковъ. Горячіе газы при тягѣ ими задерживаются и перемѣшиваются, благодаря чему они лучше касаются непосредственно какъ къ кипятильникамъ, такъ и къ жаровой трубѣ. Изъ первой жаровой трубы горячіе газы поднимаются въ жаровую трубу верхняго котла, протекаютъ черезъ неё по направленію къ передней части котла



861 и 862. Батарейный котелъ.

и, направляемые каналомъ въ обмуровкѣ котла, идутъ къ сзади лежащему борову, причемъ еще разъ проходятъ по внѣшней сторонѣ котла. Утилизація тепла газовъ такимъ образомъ достаточно хороша и они выходятъ при температурѣ достаточной лишь для полученія тяги. Недостатки Галовеевскихъ трубъ лежатъ въ томъ, что онѣ съуживаютъ топку и мѣшаютъ свободному образованію пламени, а также вредятъ полному сгоранію вслѣдствіе преждевременнаго охлажденія прочихъ газовъ до окончанія процесса горѣнія; наконецъ, устройство поперечныхъ кипятильниковъ затрудняетъ очистку жаровой трубы отъ пепла и сажи.

Старую, хорошо служащую систему котловъ представляетъ **цилиндрическій котелъ съ кипятильниками.** Какъ показываютъ рисунки 859 и 860, онъ представляетъ соединеніе одного широкаго верхняго со многими узкими нижними цилиндрическими котлами; послѣдніе называются кипятильниками и соединены съ верхнимъ большимъ числомъ патрубковъ. Топка находится подъ нижними котлами; въ нихъ вода доводится до кипѣнія и выдѣляющійся паръ поднимается въ верхній котелъ; только послѣдній имѣетъ паровое пространство, тогда какъ кипятильники заполнены вполнѣ водою. Верхній котелъ можно сдѣлать въ видѣ котла съ жаровою трубою; тогда получится котелъ, принадлежащій къ сложной системѣ, **котелъ съ жаровою трубою и съ кипятильниками.** Котелъ съ кипятильниками пригоденъ для высокихъ давленій и развиваетъ больше пара, чѣмъ обыкновенные цилиндрическіе котлы. Особый видъ котла съ кипятильниками представляютъ такъ называемые **батарейные котлы;** они

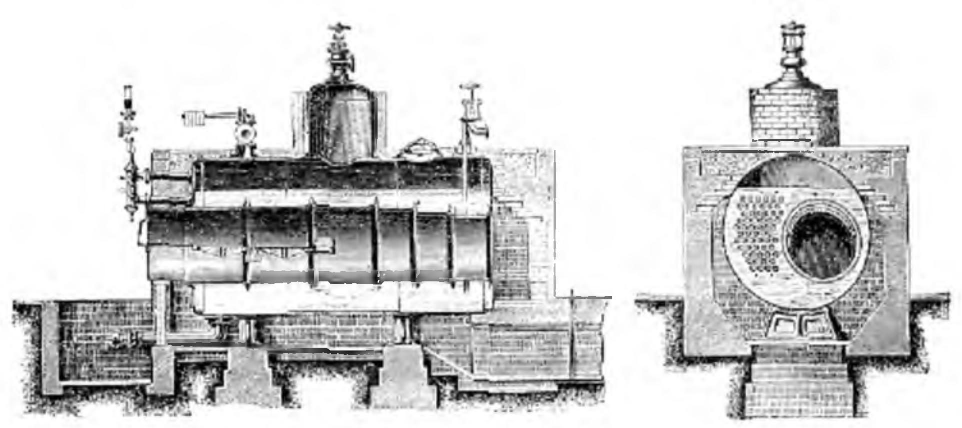


863 и 864. Трубчатый котелъ.

состоятъ изъ нѣсколькихъ расположенныхъ одинъ надъ другимъ рядовъ кипятильниковъ, соединенныхъ сверху другъ съ другомъ и имѣющихъ одинъ общій верхній котелъ; рис. 861 и 862 представляютъ схематически въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ такой котелъ съ девятью кипятильниками, съ двумя поперечными кипятильниками *Q* и однимъ верхнимъ котломъ *O*. Горячіе газы идутъ отъ рѣшетки *R* — на рисункѣ 861 изображена топка Тенбринка, между поперечными кипятильниками, вверхъ и проходятъ попеременно мимо верхняго, средняго и нижняго котловъ и по дымоходамъ въ кладкѣ идутъ назадъ и впередъ зигзагообразно въ боровъ. Котлы эти хорошо развиваютъ паръ вслѣдствіе сильной циркуляціи воды и пригодны въ особенности для большихъ установокъ и при высокихъ давленіяхъ пара. Обозначенный на рисункѣ котелъ принадлежитъ конструкціи Г. Куна въ Штутгартѣ-Бергѣ. На обоихъ рисункахъ особой штриховкой обозначены разрѣзы каменной кладки изъ шамотоваго кирпича.

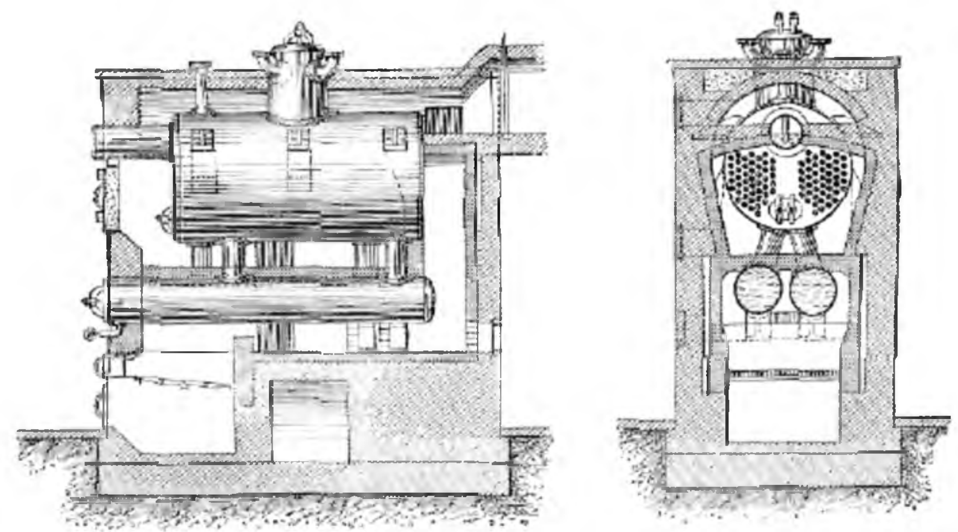
Въ трубчатыхъ котлахъ черезъ водяное пространство котла проходитъ большое число узкихъ трубокъ, спереди вдѣланныхъ въ топку, такъ что горячіе газы проходятъ черезъ нихъ; это какъ бы жаровая труба котла, раздѣленная на большое число узкихъ трубъ. Благодаря этому получается при сравнительно небольшихъ размѣрахъ котла большая поверхность нагрѣва и этимъ значительно ускоряется передача тепла отъ горячихъ газовъ къ водѣ въ котлѣ; въ этомъ и заключается главное пре-

имущество трубчатыхъ котловъ; вслѣдствіе большаго сопротивленія въ узкихъ дымогарныхъ трубахъ требуется большая тяга. Трубчатые котлы требуютъ вслѣдствіе этого высокихъ дымовыхъ трубъ или искусственной тяги, для чего напримѣръ на локомотивахъ пользуются паровой форункою Рис. 863 и 864 представляють горизонтальный трубчатый котель



865 и 866. Сложный котелъ съ жаровой трубой и съ дымогарными трубами, системы Паукша.

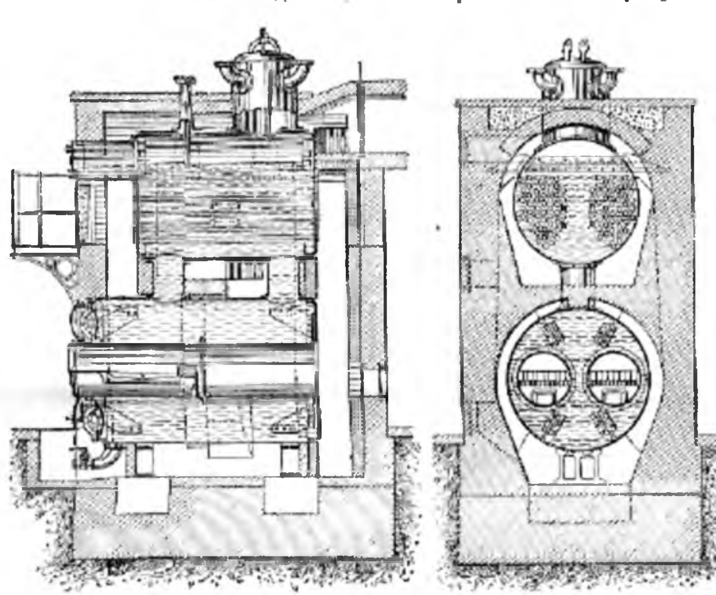
съ топкою подъ котломъ. Дымогарныя трубы помѣщены въ цилиндрическомъ котлѣ; горячіе газы сперва идутъ подъ внѣшней оболочкой котла назадъ и отсюда черезъ дымогарныя трубы впередъ, наконецъ, черезъ каменный дымоходъ надъ котломъ назадъ въ боровъ.



867 и 868. Котелъ съ дымогарными трубами и съ двумя кипятильниками.

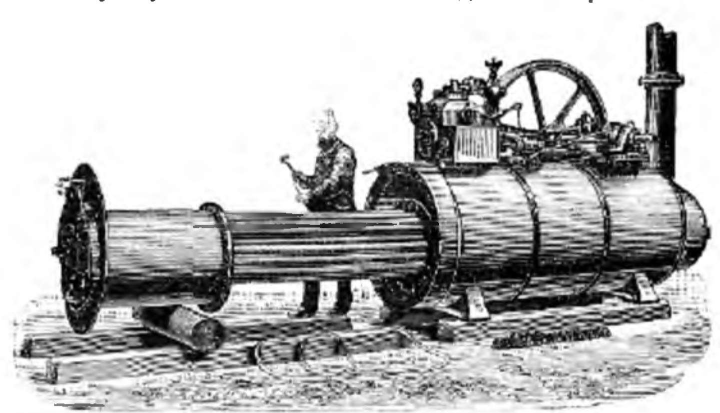
Трубчатые котлы возможно комбинировать также и съ другими системами котловъ; такъ на рис. 865 и 866 представленъ сложный котелъ системы Паукша (Х. Паукшъ, акціонерное общество, Ландсбергъ на Вартѣ); онъ состоитъ изъ корнваллійскаго котла съ дымогарными трубами: жаровая труба, какъ видно изъ продольнаго разрѣза котла, устроена особеннымъ образомъ; она состоитъ, начиная съ порога въ топкѣ, изъ отдѣльныхъ короткихъ отрѣзковъ трубъ, съ отогнутыми къ наружи и склепанными бортами (фланцами); трубы различнаго діаметра и такъ склепаны одна съ другою, что нижнія ихъ части лежатъ на

одной прямой линіи, сверху же онѣ образуютъ серпообразные уступы, бóльшіе на верхней части трубъ и сходящіеся на нѣтъ по бокамъ. При длинныхъ жаровыхъ трубахъ отдѣльныя трубы становятся попеременно бóльшаго и меньшаго діаметровъ, но такимъ образомъ, чтобы средняя ширина трубы оставалась постоянной на всей ея длинѣ; на изображенномъ на рисункѣ короткомъ сложномъ котлѣ діаметры отдѣльныхъ колецъ дѣлаются къ задней сторонѣ котла все меньше и меньше. Благодаря уступамъ, образуемымъ отдѣльными кольцами, горячіе газы при своемъ движеніи перемѣшиваются, вслѣдствіе чего непрерывно внутренніе, болѣе теплыя части потока приводятся въ соприкосновеніе со стѣнками трубъ и отдаютъ имъ тепло. Вслѣдствіе отсутствія другихъ, служащихъ для подобной цѣли приспособленій (галловеевскія трубы) здѣсь ничто не мѣшаетъ свободному образованію пламени.



869 и 870. Сложный котелъ съ двумя жаровыми трубами съ внутренней топкой и съ дымогарными трубами.

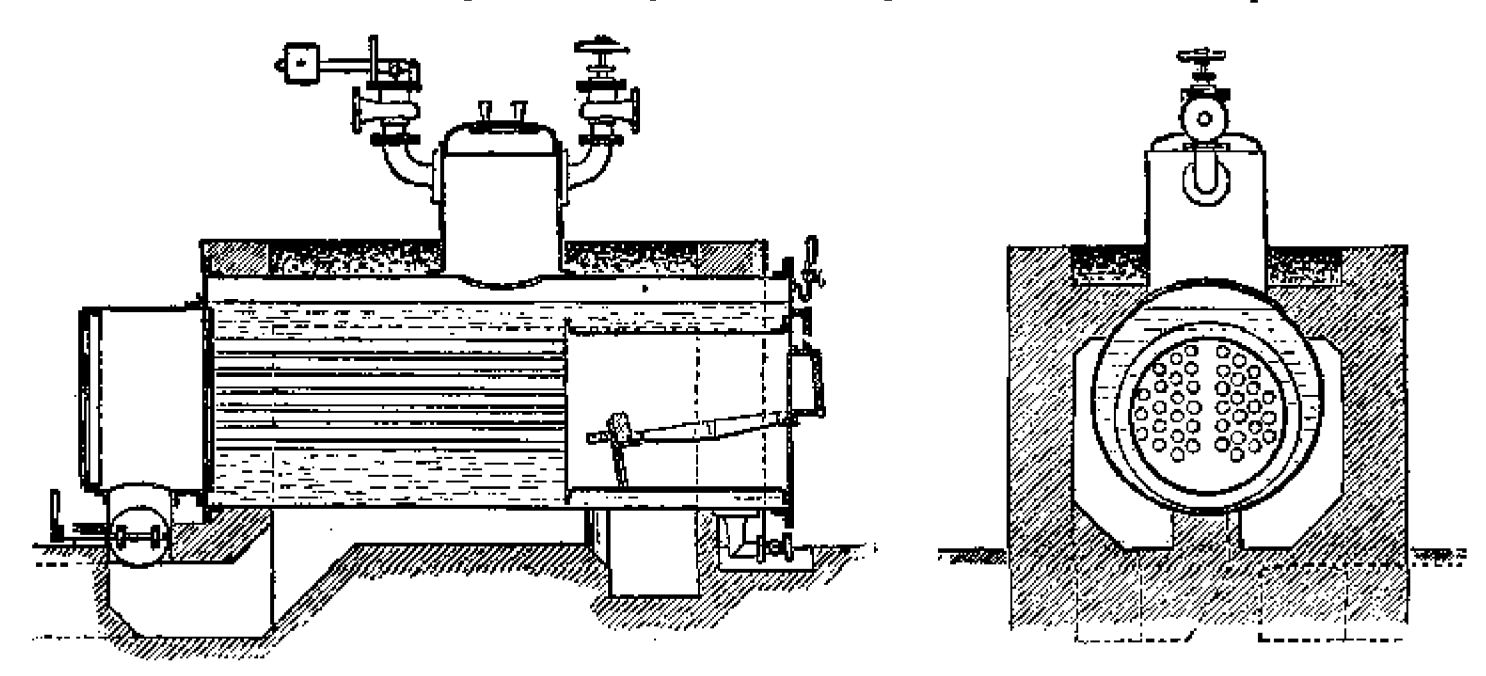
Горячіе газы отъ внутренней рѣшетки, — на рисункѣ изображена обыкновенная горизонтальная рѣшетка, — идутъ сперва черезъ жаровую трубу, затѣмъ черезъ малыя дымогарныя трубы къ передней сторонѣ котла, при обратномъ ходѣ еще разъ обтекаютъ оболочку парового котла и затѣмъ попадаютъ въ боровъ. Такой котелъ, въ виду его большой поверхности нагрѣва пригоденъ для пользованія въ особенности въ тѣсныхъ помѣщеніяхъ.



871. Котелъ съ дымогарными трубами, съ системою выдвижныхъ трубъ Вольфа.

Другую комбинацію представляетъ изображенный на рис. 867 и 868 трубчатый котелъ съ кипятильниками. Котелъ имѣетъ обыкновенную топку съ плоскою рѣшеткою; съ верхнимъ котломъ съ дымогарными трубами соединены два лежащихъ внизу кипятильника, каждый при посредствѣ двухъ приклепанныхъ патрубковъ. Горячіе газы протекаютъ снизу и съ боковъ вдоль обоихъ кипятильниковъ въ заднюю часть кладки, подымаются вверхъ, идутъ черезъ дымогарныя трубы впередъ, затѣмъ надъ котлами опять проходятъ назадъ и удаляются въ боровъ. И котелъ этой конструкціи при сравнительно незначительномъ занимаемомъ имъ мѣстѣ имѣетъ большую поверхность нагрѣва, притомъ, благодаря кипятильникамъ, большое водяное пространство.

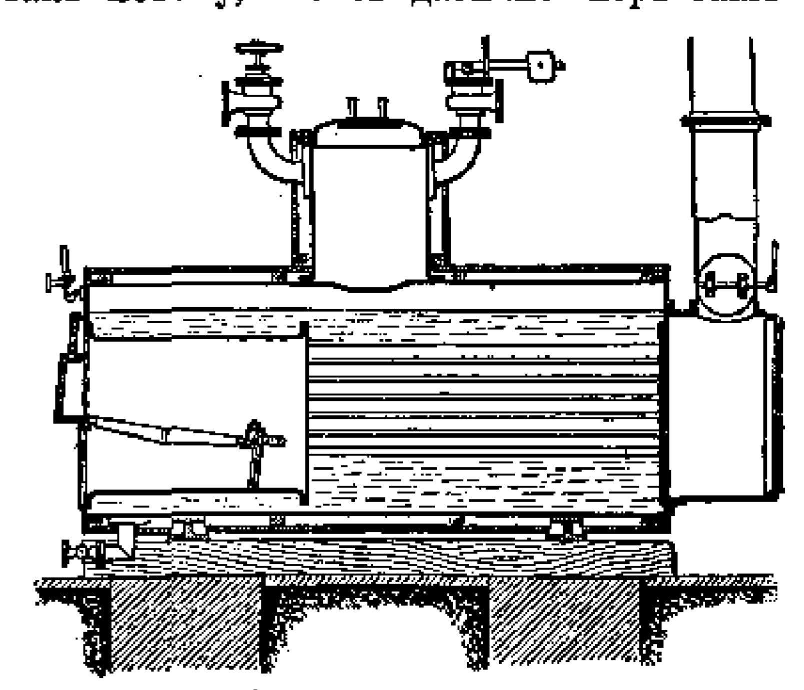
Рис. 869 и 870 представляютъ еще другую комбинацію котла съ жаровою трубою и трубчатаго котла. Надъ обыкновеннымъ, но сравнительно короткимъ котломъ съ двумя жаровыми трубами съ внутренней топкой расположенъ, соединенный съ нимъ двумя патрубками, трубчатый котелъ. Горячіе газы поднимаются на задней сторонѣ жаровой трубы вверхъ, идутъ черезъ дымогарныя трубы верхняго котла впередъ и обтекаютъ при обратномъ ходѣ внѣшнюю оболочку верхняго котла прежде поступленія въ боровъ. Этотъ котелъ при малой пло-



872 и 873. Заложенный въ кладку трубчатый котелъ съ выдвижною системою трубъ.

щади, которую онъ занимаетъ, развиваетъ большое количество пара, но при этомъ занимаетъ много мѣста въ вышину. Онъ обладаетъ большою парообразовательною способностью и хорошо утилизируетъ теплоту газообразныхъ продуктовъ горѣнія.

Недостатокъ обыкновенныхъ трубчатыхъ котловъ, такъ называемаго локомотивнаго типа (они называются такъ потому, что съ давнихъ поръ такіе котлы обыкновенно примѣняются на локомотивахъ), точно также и различныхъ комбинацій другихъ системъ съ ними, лежитъ при примѣненіи воды, не лишенной котельной накипи, въ томъ, что чистка трубъ отъ выдѣляющейся и плотно осѣдающей по внѣшней ихъ сторонѣ котельной накипи очень кропотлива и трудна. Наросты котельной накипи на всѣхъ трубахъ сильно вредятъ парообразованію котла и утилизаціи топлива, такъ какъ котельная накипь уменьшаетъ передачу тепла и притомъ въ значительной степени; котельная накипь толщиною въ 1 мм. представляетъ такое же сопротивленіе распространенію тепла, какъ и желѣзная пластина толщиною въ 13 мм. Толстый наростъ котельной накипи вреденъ также и для прочности котла, такъ какъ мѣшаетъ равномѣрному остыванію стѣнокъ котла и трубъ; толстый наростъ котельной накипи не только въ котлѣ съ дымогарными трубами, но и при котлахъ всѣхъ другихъ системъ можетъ служить причиною трещинъ и взрыва котла.



874. Открытый трубчатый котелъ съ выдвижною системою трубъ и съ кожухомъ.

Значительное преимущество по отношенію къ очисткѣ трубъ представляютъ котлы съ дымогарными трубами Вольфа съ выдвижною системою трубъ, успѣшно примѣняемые уже въ теченіи многихъ лѣтъ и

часто вытѣсняющіе болѣе старыя конструкціи, въ особенности при локомобиляхъ. Въ этой системѣ всѣ трубы неизмѣнно соединены между собою и могутъ быть вынимаемы изъ котла вмѣстѣ съ топкою; для этого стоитъ только отвернуть нѣсколько винтовъ. На рис. 871 изображенъ неподвижный локомобиль съ выдвижною системою трубъ; рабочій удаляетъ котельный камень съ внѣшнихъ стѣнокъ трубъ; трубы такъ расположены, что всѣ ихъ части доступны очисткѣ при помощи зубилъ соотвѣтствующей формы. Вставленіе трубъ обратно также очень просто. Паровые котлы Вольфа съ выдвижною системою трубъ (введены и устанавливаются Р. Вольфомъ, Буккау-Магдебургъ) устраиваютъ заложенными въ кладку или открытыми, съ желѣзнымъ кожухомъ, или передвижными въ видѣ локомобильнаго котла.

Рис. 872 и *873* изображаютъ котелъ первой конструкціи въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ. Какъ видно изъ рис. 872, топка помѣщается въ котлѣ спереди; слѣд., это внутренняя топка, благодаря чему здѣсь имѣетъ мѣсто указанное ранѣе преимущество относительно нагрѣванія; дымогарныя трубы съ одной стороны плотно придѣланы къ стѣнкѣ топки, на другомъ концѣ къ задней дымовой коробкѣ; нагрѣтые газы идутъ изъ топки черезъ дымогарныя трубы въ дымовую коробку, благодаря чему они наиболѣе экономичнымъ образомъ превращаютъ въ котлѣ въ паръ воду, непосредственно омывающую трубы; затѣмъ газы спускаются по патрубку, присоединенному къ дымовой коробкѣ внизъ, идутъ вдоль котла и наконецъ въ установленную сбоку дымовую трубу. Благодаря нижнему дымоходу, удаляющіеся газы утилизируются для нагрѣванія извнѣ нижней и боковыхъ стѣнокъ котла, чѣмъ достигается бо́льшая утилизація топлива и кромѣ того уменьшается существующая во всѣхъ котлахъ неизбѣжная *разность въ расширеніи, вслѣдствіе различнаго нагрѣванія въ различныхъ* частяхъ.

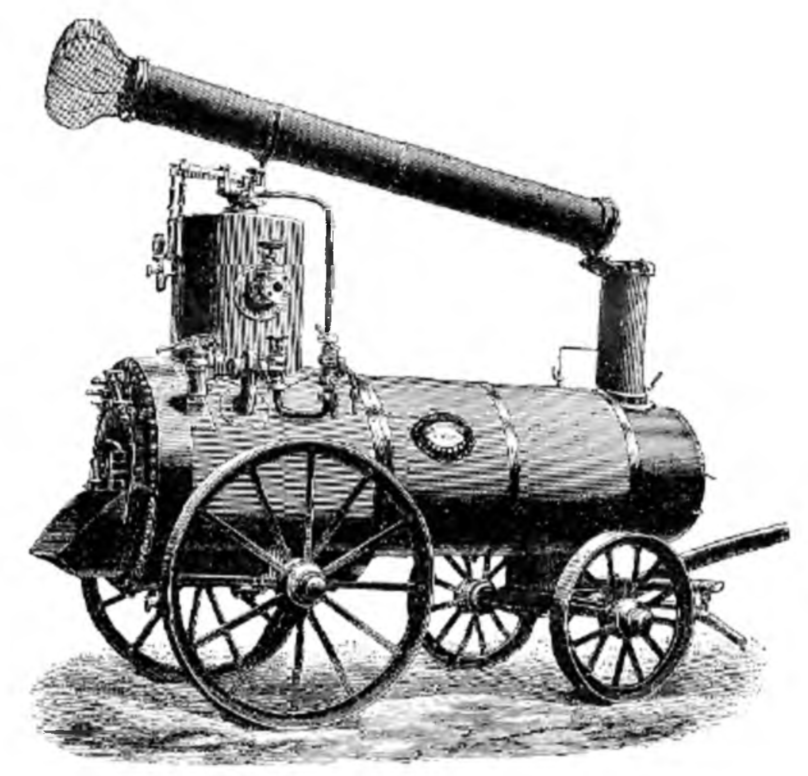
Открытый, такъ называемый постоянный локомобильный котелъ изображенъ на рис. 874 въ продольномъ разрѣзѣ; онъ помѣщенъ на чугунномъ основаніи и можетъ быть пересылаемъ и устанавливаемъ въ неразобранномъ и готовомъ для дѣйствія видѣ. Отводъ газообразныхъ продуктовъ горѣнія, какъ означено на рисункѣ, происходитъ черезъ желѣзную дымовую трубу, насаженную непосредственно на дымовую коробку или, какъ въ заложенныхъ въ кладку котлахъ, при помощи насаживаемой короткой трубы внизъ въ особую каменную или желѣзную дымовую трубу. Въ послѣднемъ случаѣ рекомендуется, какъ и въ предыдущихъ устройствахъ, проводить газообразные продукты горѣнія сперва черезъ дымоходы подъ котломъ.

Во многихъ случаяхъ бываетъ необходимо и желательно имѣть возможность быстро и удобно перевозить генераторъ пара, напр. при пользованіи паромъ для пульзометровъ въ гидротехническихъ сооруженіяхъ или какъ вспомогательными генераторами пара для паровыхъ установокъ, когда постоянные котлы капитально ремонтируются и т. п. Для такихъ цѣлей весьма пригодны такъ называемые передвижные локомобильные котлы въ родѣ изображеннаго на рис. 875. Они устанавливаются на солидномъ передвижномъ основаніи и устраиваются съ выдвижною системою трубъ и съ откидною дымовою трубою. Они снабжаются полнымъ комплектомъ принадлежностей, арматурой и приспособленіями для ихъ питанія, такъ что въ любомъ мѣстѣ послѣ ихъ нагрѣванія они сейчасъ же могутъ быть приведены въ дѣйствіе, послѣ присоединенія паропроводовъ къ фланцу патрубка пароваго колпака.

Описанные трубчатые котлы строятся на давленія пара отъ 6 до 8 атмосферъ.

Водотрубные котлы. При этой системѣ большая поверхность нагрѣва достигается обратнымъ путемъ, чѣмъ при трубчатыхъ котлахъ; въ нихъ вода находится въ большомъ числѣ узкихъ трубъ, обтекаемыхъ горячими газами. Какъ уже выше изложено, преимущество этихъ котловъ заключается въ меньшей опасности взрыва; наоборотъ, въ сравненіи съ котлами съ жаровою трубою и съ кипятильниками они имѣютъ тотъ недостатокъ, что недостаточно прочны и требуютъ частыхъ исправленій.

Къ болѣе старымъ конструкціямъ водотрубныхъ котловъ принадлежатъ котлы Альбана, Бельвилля и Роота. Первые водотрубные котлы Альбана, которые онъ строилъ уже около 1840 года, состояли изъ почти горизонтально расположенныхъ трубъ, спереди выходящихъ въ общее водяное пространство, соединенное съ двумя находящимися вверху цилиндрическими котлами. Циркуляція воды въ нихъ была не совершенна, такъ какъ вода изъ котла входила въ трубы съ той же самой стороны, съ которой должны были выходить изъ трубъ смѣсь горячей воды и пара. Въ улучшенной конструкціи Альбана этотъ недостатокъ былъ устраненъ тѣмъ, что съ обоихъ концовъ трубъ было расположено по водяной камерѣ, соединенной съ верхнимъ котломъ; эта

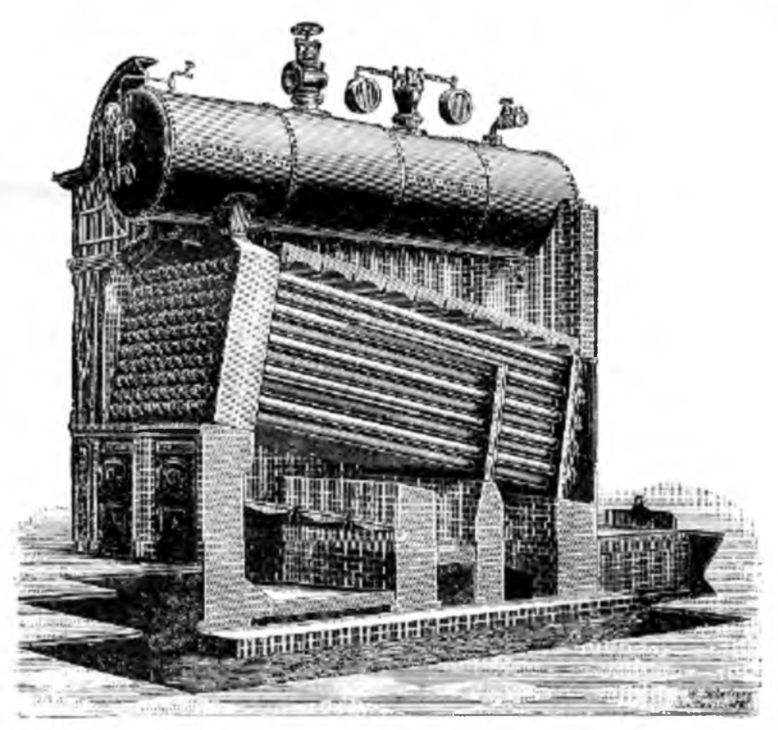


875. Передвижной локомобильный котелъ.

конструкція послужила основаніемъ для всѣхъ послѣдующихъ улучшенныхъ системъ водотрубныхъ котловъ; въ котлѣ Альбана былъ еще одинъ недостатокъ, — это то, что трубы были расположены горизонтально; вслѣдствіе этого не было достаточно равномѣрной циркуляціи воды, причемъ съ обѣихъ сторонъ трубъ вытекала смѣсь горячей воды и пара. Впослѣдствіи появились изъ заграницы котлы Бельвилля и Роота; они не имѣютъ водяныхъ камеръ; они состоятъ изъ извѣстнаго числа лежащихъ другъ надъ другомъ трубъ, спереди и сзади неизмѣнно соединенныхъ между собою; снизу къ нимъ присоединенъ резервуаръ съ питательною водою, сверху большая труба для собиранія пара. Они имѣютъ тотъ недостатокъ, что паръ въ нихъ не можетъ беспрепятственно подниматься вверхъ, вслѣдствіе чего вода легко увлекается вмѣстѣ съ паромъ въ паровой колпакъ.

Въ позднѣйшее время какъ котлы Альбана, такъ и Роота усовершенствованы нѣмецкими фабриками. Изъ водотрубныхъ котловъ первое мѣсто за-

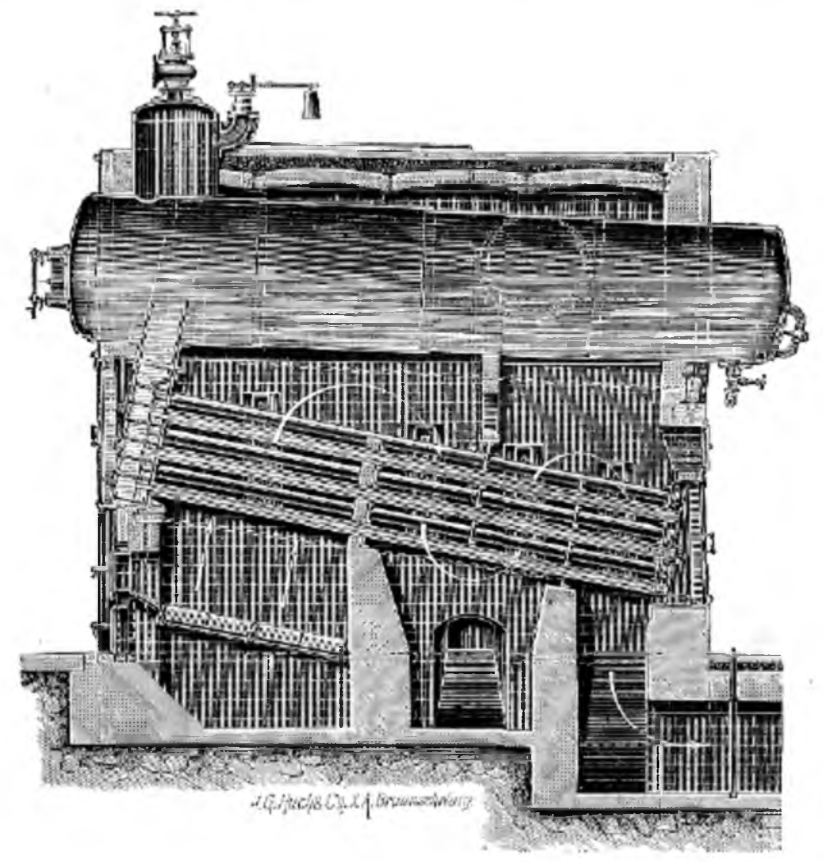
нимають водотрубные котлы съ циркуляціей воды и они въ послѣднее время почти только какъ таковые и устраиваются различными извѣстными заводами паровыхъ котловъ по различнымъ системамъ. Рис. 876 представляетъ **водотрубный циркуляціонный котелъ** съ двойной камерой Вальтера и К⁰ въ Калькѣ близъ Кельна. Котелъ этотъ состоитъ изъ передней выкованной водяной камеры, раздѣленной на два отдѣленія средней стѣнкой, параллельной передней и задней стѣнкамъ, наклонно расположенной группы трубъ и одного или двухъ цилиндрическихъ верхнихъ котловъ. Въ послѣднихъ, какъ и въ обыкновенныхъ цилиндрическихъ котлахъ, находится вода и надъ нею паровое пространство. При двухъ верхнихъ котлахъ одинъ изъ нихъ присоединенъ къ переднему, другой къ заднему отдѣленіямъ



876. Водотрубный циркуляціонный котелъ съ двойной камерой Вальтера и К⁰ въ Кельнѣ.

водяной камеры посредствомъ короткихъ трубъ; если имѣется только одинъ верхній котелъ, то онъ раздѣляется продольной перегородкой на двѣ части, изъ которыхъ одна соединяется боковой трубой съ переднимъ отдѣленіемъ, другая съ заднимъ отдѣленіемъ водяной камеры. Каждая труба съ задней стороны плотно закрыта, а спереди прикрѣплена къ водяной камерѣ, такъ что имѣетъ мѣсто вполнѣ свободное циркулированіе съ раздѣльными путями для воды и пара; въ заднемъ отдѣленіи камеры трубы имѣютъ на верхней сторонѣ большія отверстія, изъ которыхъ и выдѣляется паръ; въ каждую трубу изъ передняго отдѣленія точно по серединѣ трубы идетъ открытая съ обѣихъ сторонъ питательная труба, по которой вода изъ передняго отдѣленія течетъ непосредственно въ задній конецъ трубы, не попадая на этомъ пути въ заднее отдѣленіе камеры. Этимъ способомъ достигается энергичная циркуляція воды; вода въ тонкостѣнныхъ трубахъ съ большой поверхностью нагрѣва быстро нагрѣвается горячими газами; паръ и кипящая вода черезъ отверстія трубъ въ заднемъ отдѣленіи водяной камеры поднимаются вверхъ

въ переднюю часть одного изъ двухъ верхнихъ котловъ; большая поверхность испаренія обезпечиваетъ спокойное выдѣленіе изъ воды пара; вода протекаетъ черезъ первый верхній котелъ спереди назадъ, здѣсь вступаетъ черезъ соединительную трубу во второй верхній котелъ и изъ него въ соединенное съ нимъ переднее отдѣленіе водяной камеры, изъ послѣдней же по присоединеннымъ къ нему питательнымъ трубамъ въ заднюю часть каждой трубы. Циркуляція воды такимъ образомъ необходимо имѣетъ мѣсто, и всегда столько притекаетъ воды къ трубамъ, сколько вытекаетъ изъ нихъ

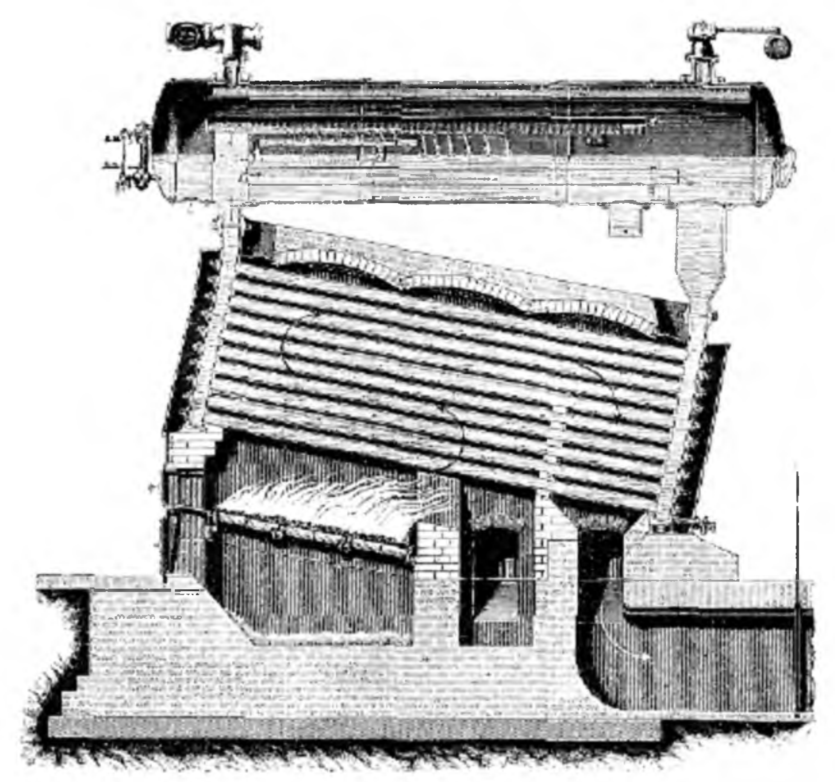


877. Циркуляціонный водотрубный котелъ системы Дюрра.
(Дюссельдорфскій Ратингенскій котельный заводъ).

наверхъ кипящей воды и выдѣляется пара. На длинномъ пути, который проходитъ смѣсь воды и пара въ верхнихъ котлахъ, прежде всего они медленно раздѣляются и частицы воды осѣдаютъ. При примѣненіи только одного верхняго котла циркуляція воды достигается тѣмъ, что котелъ раздѣляется на двѣ части, соотвѣтствующія двумъ верхнимъ котламъ. Энергичной циркуляціей уменьшается осажденіе грязи и образованіе котельной накипи, осаждающихся на трубахъ или въ водяной камерѣ; онѣ скорѣе увлекаются наверхъ въ верхній котелъ, гдѣ благодаря большому сѣченію скорость движенія воды значительно менѣе, такъ что тамъ именно могутъ садиться на стѣнки грязь и котельная накипь; отсюда ихъ можно выдуть черезъ продувной кранъ.

Другой водотрубный циркуляціонный котелъ Вальтера и К° имѣетъ по выкованной водяной камерѣ какъ спереди, такъ и сзади. Системы трубъ какъ и въ

предыдущей конструкціи, лежать наклонно, приподымаясь спереди; топка находится подъ переднимъ концомъ трубъ. Обѣ камеры соединены съ верхнимъ котломъ и вслѣдствіе этого происходитъ непрерывная циркуляція воды, такъ какъ находящаяся въ наклоненныхъ трубахъ нагрѣтая вода вмѣстѣ съ образующимся паромъ поднимается въ переднюю камеру и изъ нея въ верхній котелъ; въ то же время изъ послѣдняго вода спускается въ заднюю водяную камеру. Эта система имѣетъ извѣстныя преимущества сравнительно съ предыдущей; конструкція проще и солиднѣе, чѣмъ при примѣненіи двойной камеры; исправленія трубъ легче выполнимы и въ особенности болѣе обезпечена правильная циркуляція воды. При закрытыхъ съ одной стороны трубахъ предыдущей конструкціи не исключено безусловно осажденіе грязи и котельной накипи въ нижнихъ закрытыхъ концахъ трубъ и въ концѣ концовъ закрытіе внутри-лежащихъ питатель-



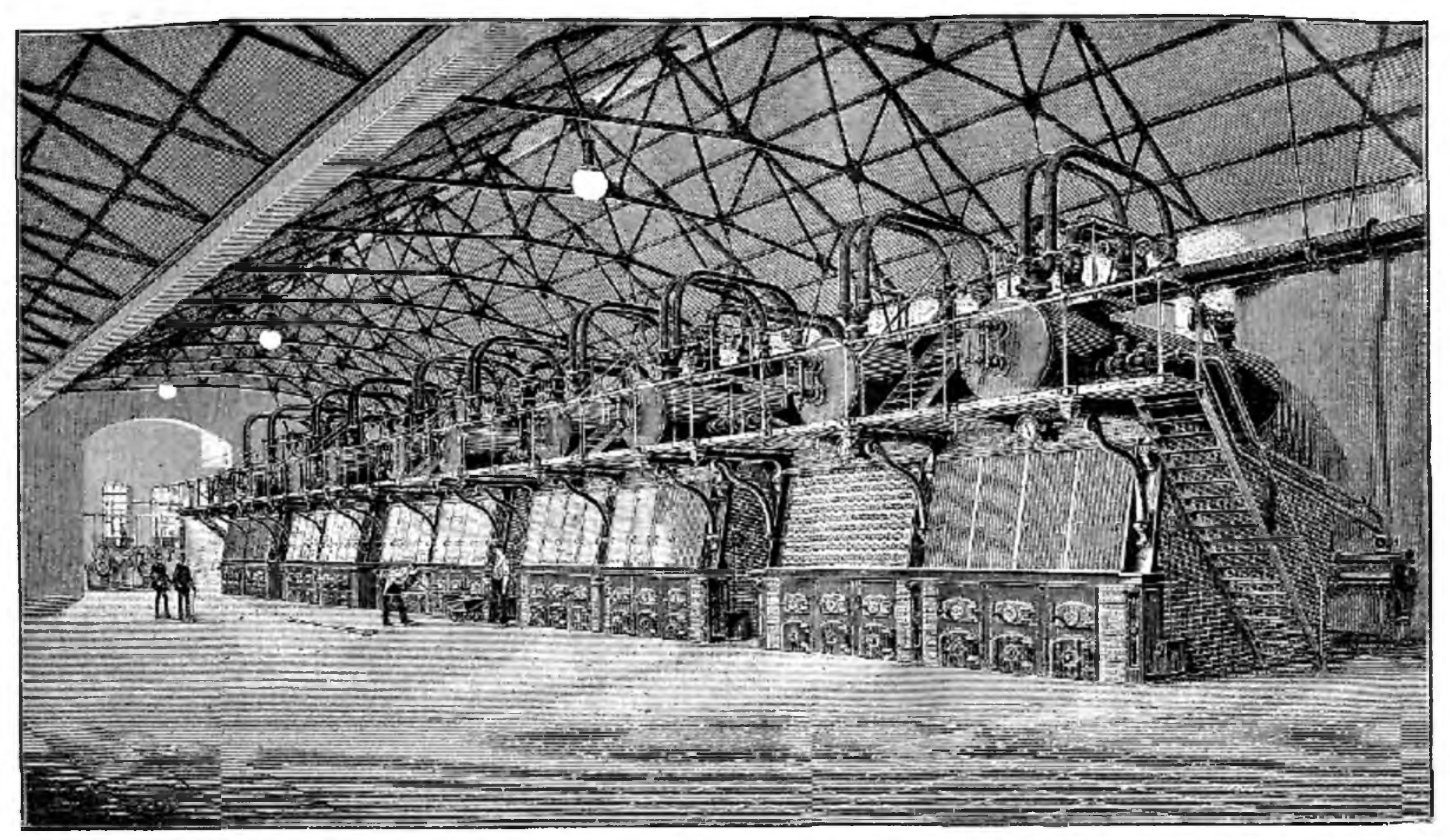
878. Котелъ Штейнмюллера.

ныхъ трубъ настолько, что прекратится всякая циркуляція и можетъ произойти прогорѣніе трубъ. При сильной работѣ котла возможно, что въ узкихъ внутреннихъ трубахъ уже будетъ образовываться паръ, что также можетъ помѣшать циркуляціи воды. *При существованіи по одной камерѣ съ обѣихъ сторонъ трубъ наоборотъ* вода и получающійся изъ нея паръ могутъ постоянно циркулировать по опредѣленному направленію.

Къ конструкціи, подобной первой изъ описанныхъ, принадлежатъ и циркуляціонные водотрубные котлы системы Дюрра, которые строятся Дюссельдорфскимъ Ратингенскимъ заводомъ водотрубныхъ котловъ, прежде Дюрра и К° въ Ратингенѣ, какъ въ видѣ заводскихъ, такъ и въ видѣ судовыхъ котловъ. Котелъ этой системы изображенъ на рис. 877 въ продольномъ разрѣзѣ. Онъ также имѣетъ одинъ или два верхнихъ котла и непосредственно надъ рѣшеткой расположенную на пути горячихъ газовъ приподнятую спереди систему трубъ для воды, входящихъ спереди въ двойную водяную или раздѣлительную камеру. Способъ его дѣйствія можетъ быть поясненъ немно-

гими словами. Оба верхніе котла сзади соединены между собою; спереди же одинъ соединенъ съ переднимъ отдѣленіемъ, другой съ заднимъ отдѣленіемъ водяной камеры; первая соединительная труба выступаетъ въ верхнемъ котлѣ нѣсколько ниже самаго нижняго уровня воды въ немъ, соединительная же труба съ заднимъ отдѣленіемъ приведена наоборотъ въ паровое пространство. Трубы прикрѣпляются къ задней стѣнкѣ водяной камеры; въ каждой изъ нихъ помѣщается питательная труба, почти доходящая до задняго конца трубы; питательныя трубы придѣланы къ промежуточной перегородкѣ водяной камеры и такимъ образомъ находятся въ соединеніи съ передней частью водяной камеры. Питательная вода поступаетъ въ верхній котелъ, соединенный съ заднимъ отдѣленіемъ камеры, изъ котораго поднимается горячая вода съ парами воды и сейчасъ же нагрѣваетъ свѣжую воду до высокой температуры, благодаря чему выдѣляется котельная накипь и потоками воды относится въ заднюю часть котла; вода проходитъ черезъ одинъ изъ верхнихъ котловъ назадъ, поступаетъ въ другой, течетъ по нему впередъ и, проходя по соединительной трубкѣ, выступающей изъ стѣнки котла, но находящейся подъ поверхностью воды въ немъ, поступаетъ въ переднее отдѣленіе водяной камеры достаточно освобожденною отъ котельной накипи, уже осѣвшей въ верхнемъ котлѣ. Изъ камеры вода проходитъ, какъ и при предыдущихъ системахъ, черезъ питательныя трубы въ трубы, въ которыхъ сильно нагрѣвается непосредственно обтекающими ихъ горячими газами и отчасти превращается въ паръ; смѣсь пара съ водою поднимается въ верхній котелъ. Паръ идетъ по тому же пути, какъ и вода, черезъ оба котла и здѣсь отдѣляется отъ воды; паровой колпакъ находится на передней сторонѣ не соединеннаго съ паровой камерой верхняго котла. При устройствахъ съ однимъ верхнимъ котломъ въ немъ устраиваютъ перегородку, благодаря чему въ немъ достигается такая же циркуляція, какъ и при двухъ котлахъ.

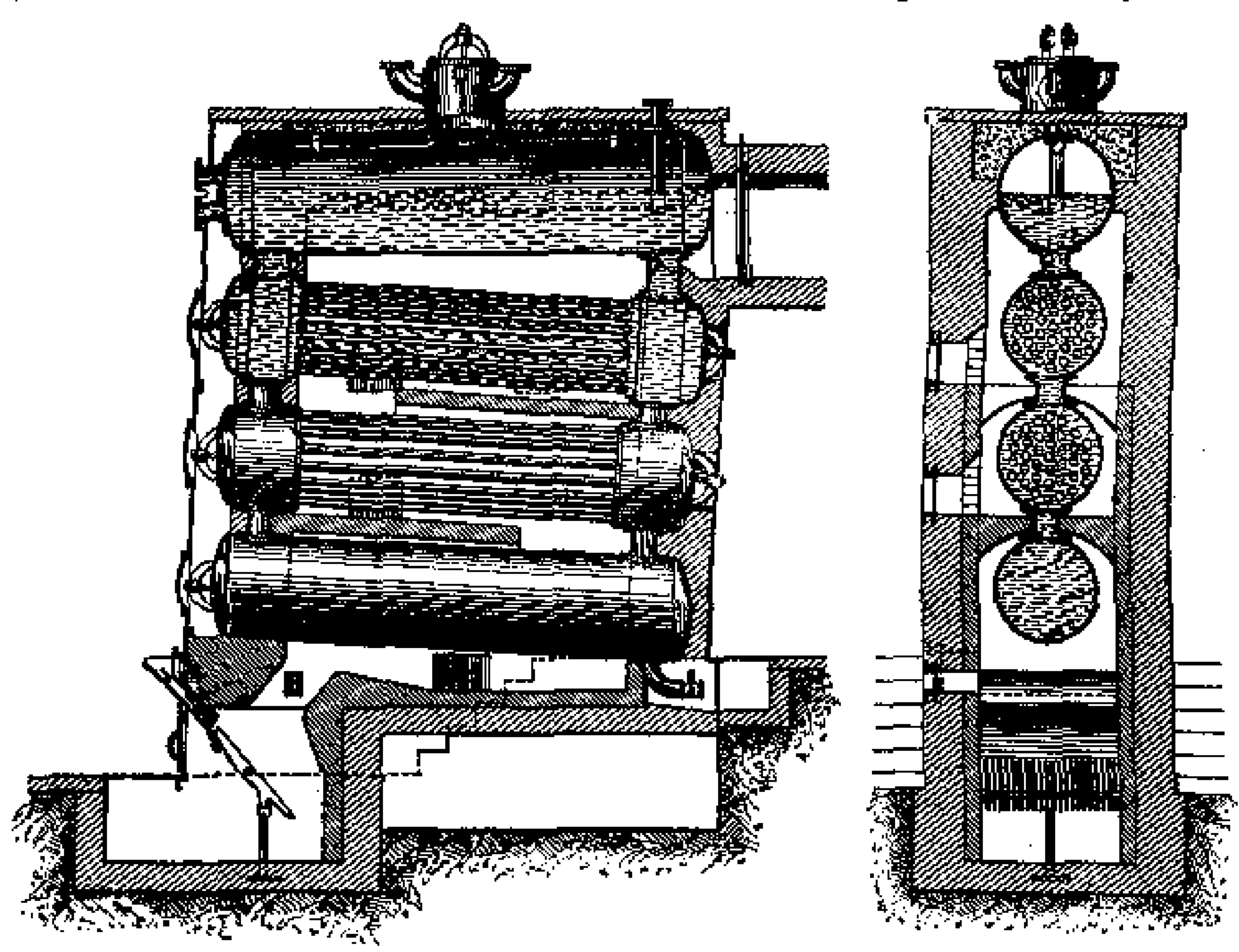
Самое широкое примѣненіе изъ всѣхъ системъ водотрубныхъ котловъ получили около середины восьмидесятыхъ годовъ котлы Штейнмюллера завода Л. и Ц. Штейнмюллера въ Гуммерсбахѣ. По конструкціи этотъ котелъ подобенъ только что описанному и состоитъ изъ одного нижняго котла, собственно паропроизводителя, съ двумя водяными камерами, и одного или нѣсколькихъ расположенныхъ надъ нимъ верхнихъ котловъ, которые не подвергаются непосредственному нагрѣванію (см. рис. 878). Трубы нижняго котла спереди и сзади рядами присоединены къ желѣзнымъ кованнымъ водянымъ камерамъ; система трубъ сильно наклонена кзади, такъ что надъ рѣшеткой, гдѣ наибольшая температура, онѣ сильно приподняты. Нагрѣтые газы такъ проводятся, что они, какъ указано стрѣлками, сперва обтекаютъ переднюю часть системы трубъ и затѣмъ идутъ внизъ къ борову. Образующійся въ трубахъ паръ поднимается въ переднюю часть, такъ какъ онъ легче воды, и черезъ переднюю камеру переходитъ въ верхній котелъ, причемъ онъ увлекаетъ съ собою кипящую воду; въ одинаковомъ съ нимъ количествѣ притекаетъ въ трубу по задней водяной камерѣ вода изъ верхняго котла. Для раздѣленія поднимающихся изъ передней камеры въ верхній котелъ пара и смѣси воды съ паромъ устроено особое приспособленіе; на соединительную трубу насажена труба, выходящая надъ поверхностью воды; близъ дна къ ней придѣлана горизонтальная труба, черезъ которую вода стекаетъ къ задней соединительной трубѣ; для того, чтобы сверхъ этого установить дальнѣйшее болѣе совершенное отдѣленіе воды отъ протекающаго вверхъ пара, паръ надъ поверхностью воды проводится по длинному четырехугольному закрытому ящику съ продырявленнымъ дномъ, присоединенному сбоку къ трубѣ, по которой притекаетъ паръ, и открытому на противуположномъ концѣ. При проходѣ черезъ этотъ длинный ящикъ вода, механически увлеченная паромъ, осѣдаетъ и стекаетъ черезъ отверстія въ днѣ



879. Котельная газопроводной, водопроводкой и электрической установки города Кельна съ 10 котлами Штейнмюллера.

ящика въ водяное пространство верхняго котла и затѣмъ по задней соединительной трубѣ опять въ систему трубъ, а сухой паръ выходитъ изъ задняго конца ящика. Такимъ образомъ получается сильное циркулированіе всей находящейся въ котлѣ воды, которая вся проходитъ черезъ трубы въ нѣсколько минутъ, а точно также спокойное парообразованіе въ верхнемъ котлѣ, причемъ паръ отдѣляется отъ воды. Котлы Штейнмюллера устраиваются также открытыми, безъ помѣщенія въ кладку, съ внутренней топкой и съ желѣзнымъ кожухомъ. Это устройство отличается отъ изображеннаго заложеннаго въ кладку котла только расположеніемъ частей, способъ же дѣйствія его совершенно такой же.

Котлы Штейнмюллера вошли въ большомъ числѣ въ употребленіе въ послѣднее десятилѣтіе, въ особенности на электрическихъ установкахъ;



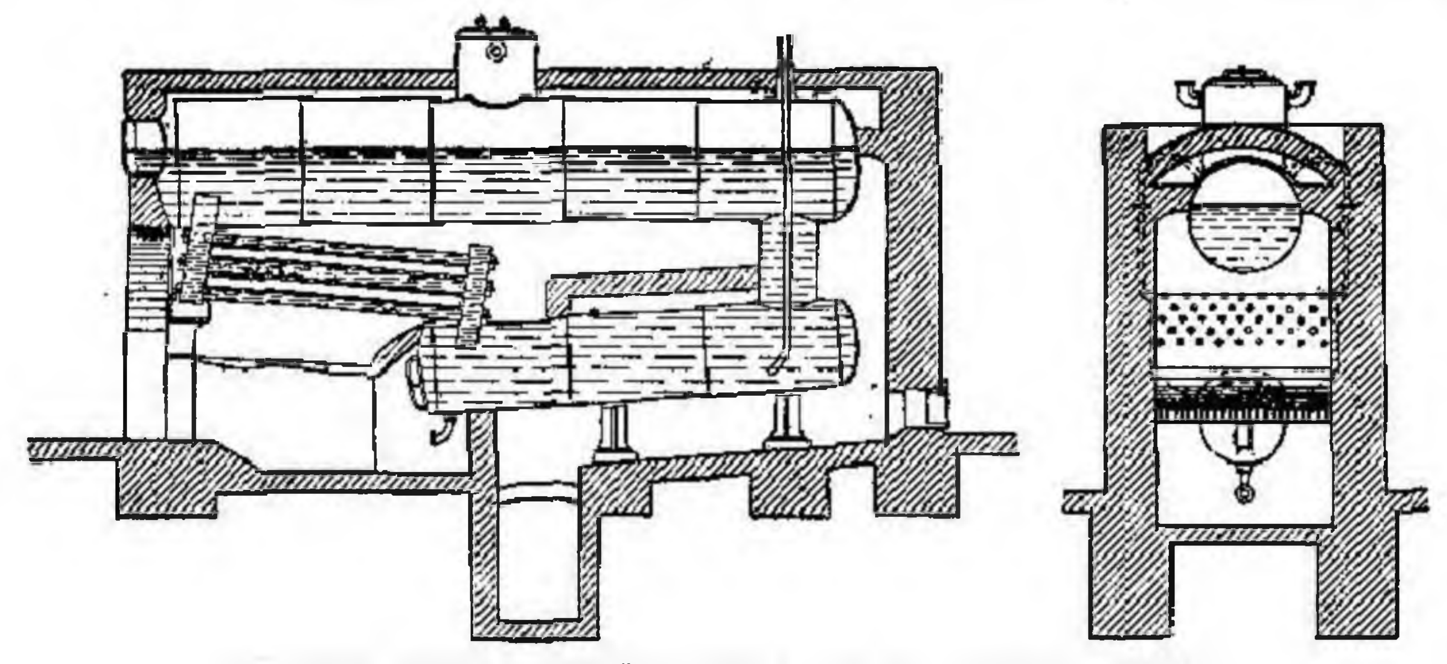
880 и 881. Сложный водотрубный котелъ системы Куна.

рис. 879 представляетъ напр. котельную съ десятью такими заложенными въ кладку котлами, устроенную для газовой, водопроводной и электрической установокъ въ г. Кёльнѣ.

Котелъ Штейнмюллера и ранѣе описанные котлы, точно такъ же, какъ и другіе циркуляціонные котлы, не принадлежатъ уже къ котламъ съ небольшимъ водянымъ пространствомъ или къ настоящимъ водотрубнымъ котламъ; это скорѣе комбинація котловъ съ большимъ водянымъ пространствомъ и водотрубнаго котла, такъ какъ верхній котелъ имѣетъ большія, паровое и водяное, пространства; благодаря запасу воды и пара въ нихъ, они до извѣстной степени обладаютъ и преимуществами котловъ съ большимъ водянымъ пространствомъ, въ особенности когда они снабжены приспособленіями для полученія сухаго пара. Слѣдуетъ различать два случая: охватывается ли верхній котелъ горячими газами или нѣтъ. Въ первомъ случаѣ такіе котлы нельзя считать котлами, безопасными отъ взрыва; они также опасны въ этомъ отношеніи, какъ и обыкновенные котлы съ большимъ водянымъ пространствомъ; если же, какъ и въ описанныхъ котлахъ Штейнмюллера и Вальтера, верхній котелъ помѣщенъ весь цѣликомъ надъ дымоходами, т. е. внѣ дѣйствія горячихъ газовъ, то конечно теряются нѣсколько квадратныхъ метровъ

поверхности нагрѣва, но благодаря этому опасность взрыва почти вполнѣ исключена; самое большее, это когда либо можетъ лопнуть труба для воды, что не произведетъ большихъ разрушенiй и сравнительно легко можетъ быть исправлено.

Сложный водотрубный котелъ системы Куна (рис. 880 и 881) состоитъ изъ одного верхняго, одного нижняго и двухъ лежащихъ между ними водотрубныхъ котловъ; каждый изъ нихъ на обоихъ концахъ соединяется съ лежащими надъ нимъ и подъ нимъ котлами, т. е. средніе котлы при помощи приклепанныхъ патрубковъ соединены съ верхнимъ и съ нижнимъ и между собою; на верхнемъ котлѣ находится паровой колпакъ. Батареи обоихъ среднихъ водотрубныхъ котловъ спереди и сзади вдѣланы въ цилиндрическія водяныя камеры. Питательная вода поступаетъ въ верхній котелъ, и такъ какъ три нижніе котла наклонны, то происходитъ циркуляція воды въ нихъ совершенно подобная той, которая имѣетъ мѣсто въ ранѣе описанныхъ конструкціяхъ; вода черезъ заднія соединительныя трубы спу-



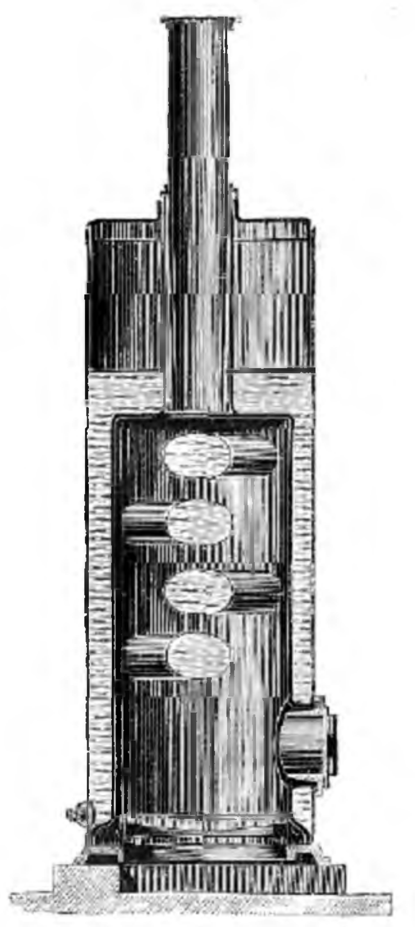
882 и 883. Циркуляціонный паровой котелъ системы Макъ Николь.

скается внизъ, а горячая вода въ смѣси съ пузырьками пара поднимается черезъ переднія соединительныя трубы въ верхній котелъ, въ которомъ паръ и отдѣляется отъ воды. Горячіе газы обтекаютъ котелъ по языкообразной кладкѣ изъ шамотоваго кирпича змѣевидными зигзагами и наверху поступаютъ въ боровъ.

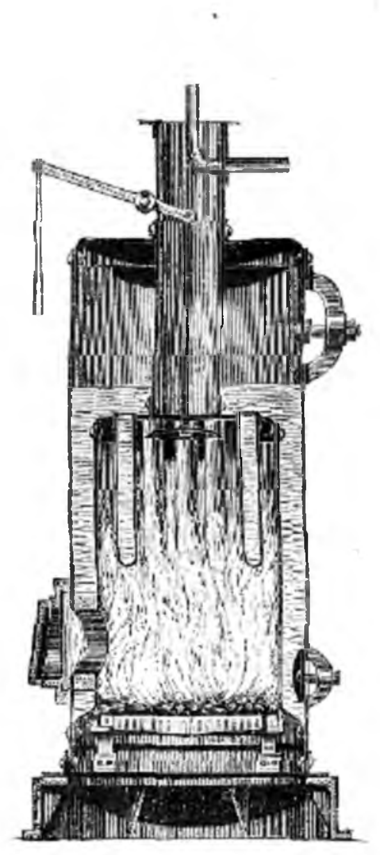
Къ сложнымъ циркуляціоннымъ котламъ принадлежитъ еще и циркуляціонный котелъ системы Макъ Николь, изображенный на рис. 882 и 883 въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ. Котелъ этотъ состоитъ изъ двухъ цилиндрическихъ котловъ и одной батареи трубъ; послѣдняя лежитъ непосредственно надъ рѣшеткой и обладаетъ высокою парообразовательною способностью; кромѣ того онъ обладаетъ, благодаря двумъ цилиндрическимъ котламъ, большимъ водянымъ пространствомъ и большою поверхностью испаренія. Сильное выдѣленіе пара въ приподнятыхъ нѣсколько спереди водяныхъ трубахъ и потокъ въ передней части пара въ смѣси съ водою въ верхній котелъ вызываютъ энергичное циркулированіе воды въ верхнемъ и нижнемъ котлахъ, благодаря чему происходитъ непрерывная и сильная отдача тепла воды стѣнками цилиндрическихъ и трубчатыхъ котловъ, обтекаемыхъ горячими газами.

Вертикальный паровой котелъ. Подобные котлы примѣняются главнымъ образомъ на небольшія силы, для приведенія въ дѣйствіе паровыхъ машинъ для кустарныхъ производствъ, въ небольшихъ и средней величины механическихъ мастерскихъ и т. д., такъ какъ они занимаютъ менѣе

мѣста, чѣмъ горизонтальные котлы. При вертикальныхъ котлахъ труднѣе достигнуть хорошей утилизаціи теплоты горячихъ газовъ, чѣмъ при горизонтальномъ котлѣ, такъ какъ здѣсь газы стремятся возможно кратчайшимъ путемъ быстро подняться наверхъ въ дымовую трубу. Этому можно помѣшать соотвѣтственнымъ направленіемъ потока газовъ и устройствомъ различныхъ перегородокъ на ихъ пути. Недостатокъ всѣхъ вертикальныхъ котловъ заключается въ незначительной площади испаренія по сравненію съ емкостью



884. Вертикальный котелъ съ поперечными кипятильниками Кенна и Гамброка въ Альтонѣ.

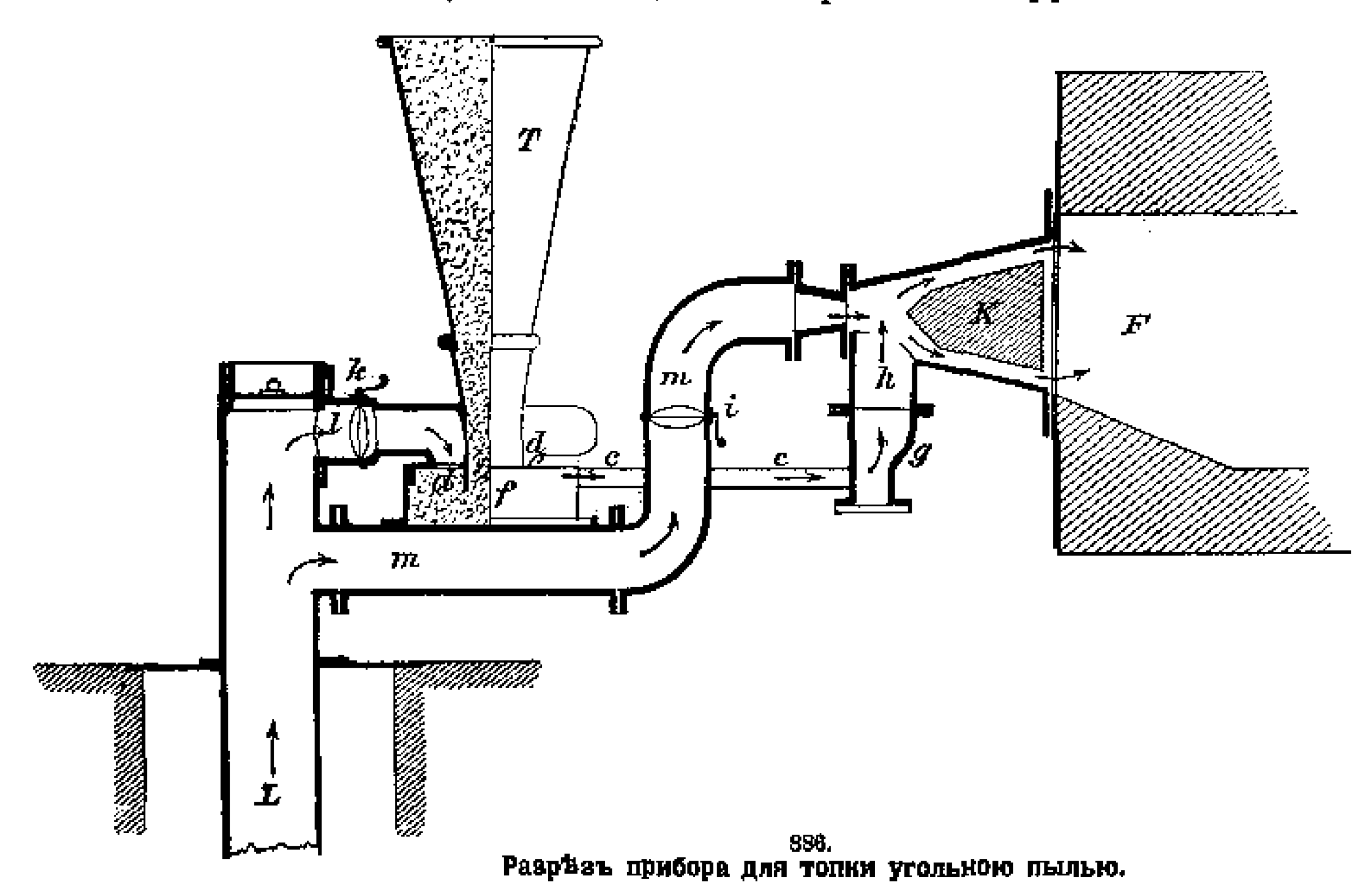


885. Вертикальный трубчатый котелъ Фильда.

котла. Вслѣдствіе этого въ немъ труднѣе развивается паръ и вслѣдствіе сильнаго движенія поверхности воды паръ получается мокрымъ. Вертикальные котлы устраиваются по большей части съ внутренней топкой; рѣшетка помѣщается снизу въ огневой коробкѣ, которая по бокамъ и сверху окружена водою; горячіе газы изъ нея идутъ вверхъ черезъ котелъ. Подобный котелъ наиболѣе простаго вида изображенъ на рис. 884. Огневая коробка вся сварена, безъ заклепочныхъ соединеній; въ ней, подобно тому какъ описано ранѣе при котлахъ Галловея, приварено нѣкоторое число поперечныхъ кипятильныхъ трубъ, обхватываемыхъ горячими газами, поднимающимися отъ рѣшетки; этимъ не только увеличивается поверхность нагрѣва, но главнымъ образомъ ставится нѣкоторое препятствіе нагрѣтымъ газамъ на

ихъ прямомъ пути въ дымовую трубу и дается имъ возможность отдавать свою теплоту поверхностямъ, омываемымъ водою.

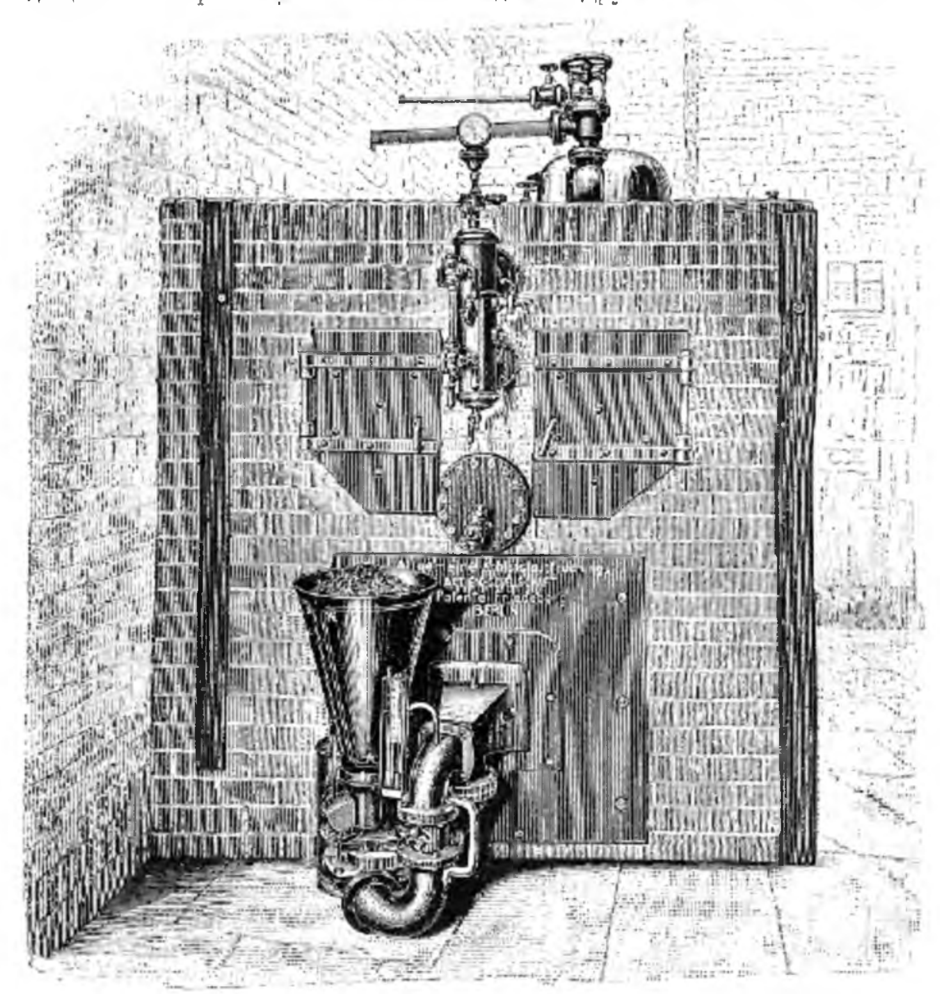
Рис. 885 представляетъ трубчатый котелъ Фильда; въ топку съ верхней части огневой коробки спускается нѣсколько трубъ, снизу закрытыхъ, сверху открытыхъ и слѣдовательно заполненныхъ водою, которыя и подвержены непосредственному нагрѣванію горячими газами, благодаря чему въ нихъ происходитъ сильное парообразованіе. При илистой или содержащей котельную накипь водѣ устройство такихъ закрытыхъ снизу трубъ, какъ уже было замѣчено при предыдущихъ описаніяхъ, представляетъ тотъ недостатокъ, что на днѣ ихъ отстаивается илъ или насѣдаетъ котельная накипь, что сильно вредитъ съ теченіемъ времени отдачѣ тепла стѣнками и что въ случаѣ толстаго осадка и при несвоевременной чисткѣ можетъ привести къ накаливанію ихъ и послужить поводомъ къ трещинамъ трубъ.



886.
Разрѣзъ прибора для топки угольною пылью.

Паровой котелъ съ топкою угольною пылью. Въ послѣдніе годы опубликованъ цѣлый рядъ различныхъ изобрѣтеній и устройствъ, имѣющихъ въ виду раціональное примѣненіе менѣе цѣнной угольной пыли. Многія изъ этихъ изобрѣтеній получили практическое примѣненіе, другія же вскорѣ послѣ своего появленія опять исчезли. Большинство конструкцій этихъ топокъ вообще отличаются отъ другихъ топокъ тѣмъ, что топливо не поступаетъ на рѣшетку для сгоранія, но будучи раздроблено на мелкіе куски сгораетъ въ видѣ пыли прямо въ воздухѣ подобно газу или распыленному керосину. Одна изъ этихъ конструкцій, уже показавшая себя съ хорошей стороны на практикѣ, будетъ здѣсь описана, именно приборъ для сожиганія угольной пыли, патентированный Фридебергомъ. Рис. 886 представляетъ схематически этотъ приборъ. Топливо, въ видѣ обломковъ и пыли каменнаго угля и бураго угля передъ употребленіемъ равномѣрно размалывается; для приведенія въ дѣйствіе прибора служитъ воздухъ подъ давленіемъ въ 50—60 мм. (водяного столба), доставляемый вентиляторомъ. Воздухъ подводится къ прибору по трубѣ L; онъ раздѣляется, какъ показано стрѣлками, на два потока; одинъ идетъ вверхъ въ трубу l съ впускнымъ клапаномъ k и протекаетъ черезъ два сопла dd, находящіяся по обѣимъ сторонамъ воронки для засыпки угля,

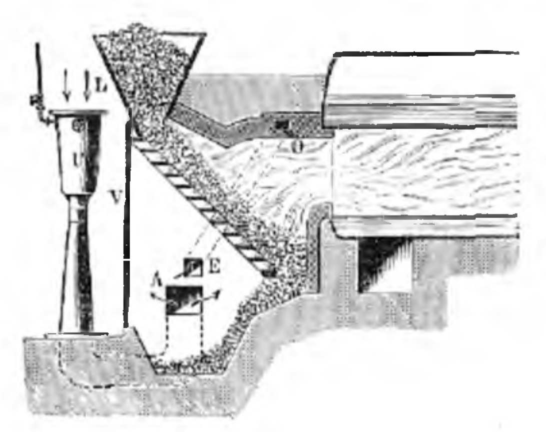
внизъ въ основаніе воронки T, наполненное угольною пылью; воздухъ заставляетъ угольную пыль подниматься клубами и увлекаетъ ее съ собою черезъ трубу c и подъемную трубу g въ патрубокъ h, насаженный къ передней стѣнкѣ топки и далѣе въ топку по кольцевому каналу между ею и конусомъ изъ шамотоваго кирпича. По мѣрѣ того, какъ изъ основанія воронки для угольной пыли потокомъ воздуха выдувается угольная пыль, находящаяся въ воронкѣ угольная пыль осѣдаетъ. Другое отвѣтвленіе потока воз-



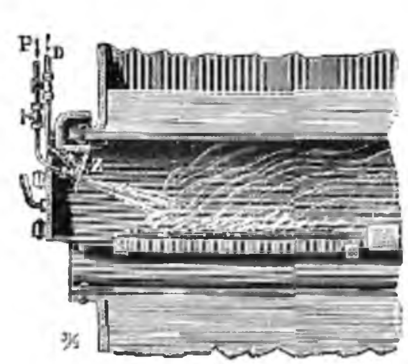
887. Приборъ для топки угольною пылью при котлѣ съ топкою внизу.

духа проходитъ прямо черезъ главную трубу m съ впускнымъ краномъ i въ патрубокъ h, у шамотоваго конуса смѣшивается со смѣсью угольной пыли и воздуха и вмѣстѣ съ ними по кольцевому пространству вокругъ шамотоваго конуса поступаетъ въ топку. Впускными кранами въ широкихъ предѣлахъ регулируется притокъ угольной пыли, а также въ особенности притокъ воздуха; все регулированіе топки производится такимъ образомъ установкою этихъ двухъ впускныхъ крановъ. Приборъ этотъ не имѣетъ движущихся частей и въ виду этого не подверженъ никакой порчѣ. Сама топка состоитъ изъ пространства, выложеннаго шамотовымъ кирпичемъ; для начала дѣйствія топки сперва въ ней подъ котломъ разводится огонь при помощи дерева

кая угли; затѣмъ можно легко зажечь вдуваемую угольную пыль и въ дальнѣйшемъ огонь поддерживается самъ собою. Утилизація топлива въ этой топкѣ экономична; можно достигнуть почти полнаго сгоранія безъ образованія дыма и сажи. Недостатокъ топки заключается въ томъ, что всѣ угольные остатки сперва слѣдуетъ смолоть, что всегда для небольшихъ установокъ представляетъ нѣкоторыя неудобства; далѣе начало топки зависитъ отъ того, работаетъ ли вентиляторъ, доставляющій воздухъ подъ давленіемъ; тамъ, гдѣ котлы и машины работаютъ безъ перерыва, топка эта не представляетъ неудобства; тамъ же, гдѣ каждый вечеръ котлы и машины останавливаются, такъ что утромъ, до развитія пара и до пуска въ ходъ машинъ, не имѣется въ распоряженіи никакой силы для приведенія въ дѣйствіе вентилятора, это неудобство устраняется устройствомъ запасного резервуара со сжатымъ воздухомъ. Для засыпки воронокъ служатъ особые ящики или повозки, изъ которыхъ, не открывая ихъ, можно пересыпать угольную пыль въ воронку безъ выдѣленія пыли. Описанный приборъ для топки угольною пылью можно ста-



888. Поддувало у котла съ жаровою трубою и ступенчатою рѣшеткою.



889. Нефтяная топка парового котла.

вить на большую часть котловъ различныхъ системъ, какъ при внутренней топкѣ, такъ и при топкѣ ихъ снизу. Рис. 887 показываетъ примѣненіе этого прибора къ котлу съ топкою внизу.

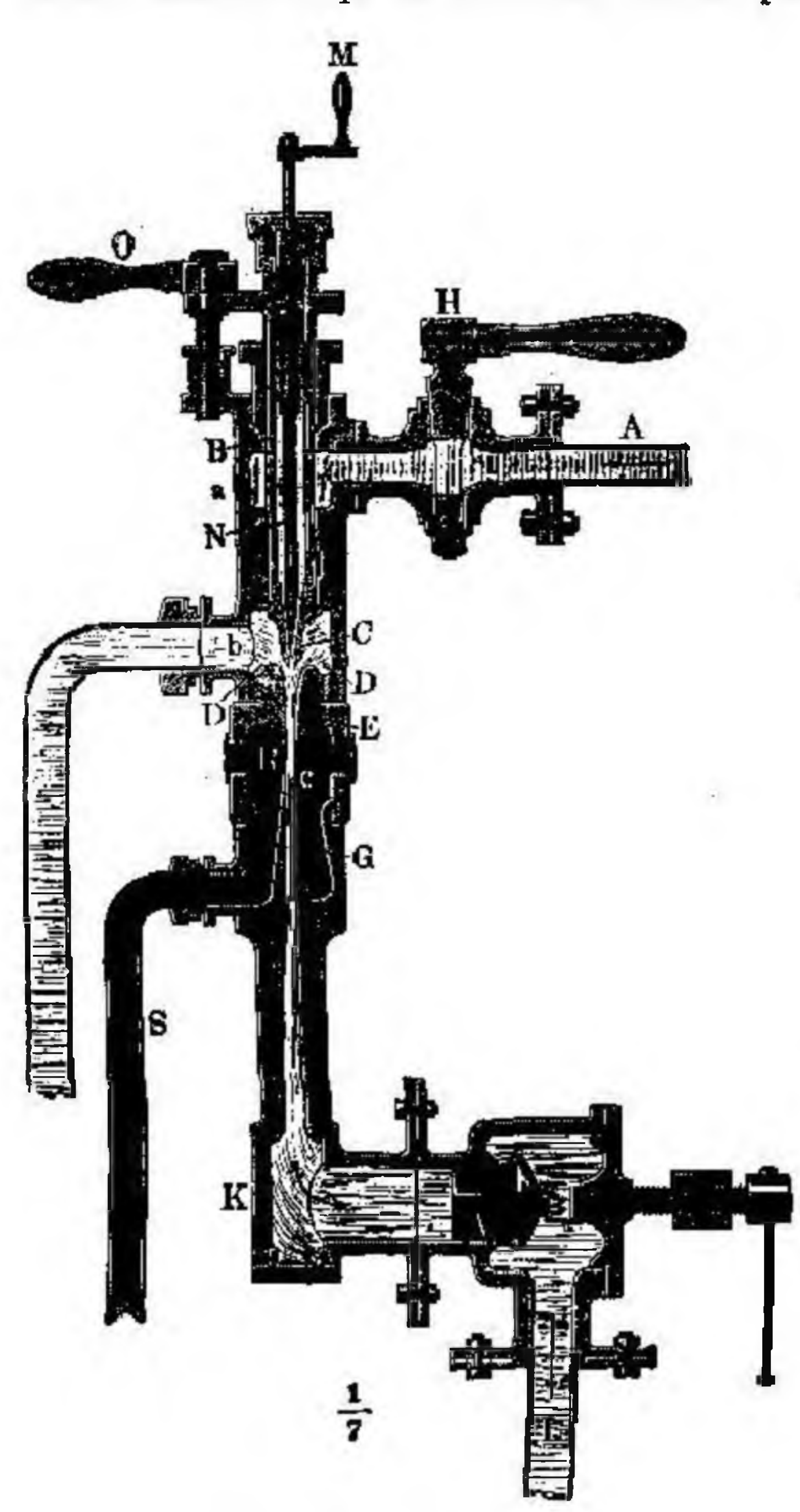
Пользованіе малоцѣннымъ топливомъ. Существуетъ рядъ очень дешевыхъ, но менѣе хорошихъ топливъ, которыя въ виду большого содержанія золы и худой ихъ горючести недостаточно хорошо сгораютъ въ котлахъ при обыкновенной тягѣ и которыя въ виду этого трудно примѣнять при обыкновенныхъ топкахъ. Къ такимъ топливамъ принадлежатъ болѣе худые сорта каменнаго угля, въ особенности угольная пыль и обломки угля, которые получаются, какъ очень малоцѣнный побочный продуктъ, на установкахъ по обработкѣ угля, при коксованіи, на газовыхъ заводахъ и которые въ нѣкоторыхъ случаяхъ разсматриваются, какъ не имѣющій цѣны отбросъ. Плотное залеганіе этого топлива мѣшаетъ при обыкновенной тягѣ въ котлѣ доступу къ нему требуемаго для его сгоранія количества воздуха. Такія топлива можно экономично утилизировать на нашедшей въ недавнее время большое примѣненіе топкѣ съ воздуходувнымъ приборомъ для доставленія воздуха подъ рѣшетку топки. Приборъ этотъ можно употреблять при большинствѣ конструкцій какъ котловъ, такъ и рѣшетокъ; обыкновенно онъ заключается въ томъ, что въ замкнутое пространство подъ рѣшеткой вдуваютъ подъ извѣстнымъ давленіемъ воздухъ, который и проникаетъ черезъ рѣшетку и черезъ высокій слой плотно лежащаго топлива въ достаточномъ для его

сжиганія количествѣ. Для этой цѣли въ особенности пригодны пароструйные вентиляторы Кортинга, главнымъ образомъ вслѣдствіе ихъ простоты и хорошей работы. О вентиляторахъ со струями пара или воздуха подъ давленіемъ сказано болѣе подробно уже ранѣе (въ первой части этого тома). Рис. 888 представляетъ котелъ (Корнваллійскій) съ жаровою трубою со ступенчатою рѣшеткою; такіе котлы въ особенности пригодны для примѣненія малоцѣннаго угля и отбросовъ въ соединеніи съ пароструйными вентиляторами Кертинга. Пространство передъ наклонной рѣшеткой плотно прикрыто приставленной къ боковымъ стѣнкамъ заслонкой V; передъ нею помѣщенъ пароструйный вентиляторъ U; сверху при L всасывается воздухъ, черезъ тонкую же трубу подводится рабочій паръ. Всасываемый воздухъ вдувается подъ рѣшетку черезъ каналъ въ A. Часто часть вдуваемаго воздуха черезъ боковые каналы EO вдуваются въ пространство поверхъ рѣшетки въ топку въ видѣ такъ называемаго верхняго дутья съ цѣлью достигнуть лучшаго сжиганія окиси углерода, еще не совсѣмъ сгорѣвшей и содержащей горючіе газы. Для пусканія въ ходъ прибора достаточно открыть паровой кранъ и соотвѣтственной установкой его можно весьма просто регулировать количество вдуваемаго воздуха и вмѣстѣ съ тѣмъ работу топки. Небольшое количество вдуваемаго съ воздухомъ пара не вредитъ тепловому дѣйствію; паръ разлагается накаленнымъ углемъ на водородъ и кислородъ и потраченное на это разложеніе количество тепла вполнѣ возвращается выдѣляющимися затѣмъ тепломъ при ихъ обратномъ соединеніи. Такой приборъ представляетъ простое средство для увеличенія производительности котла, если напр. является временный недостатокъ въ парѣ вслѣдствіе увеличенія потребленія пара, предполагая конечно, что всѣ остальныя части котла допускаютъ увеличеніе парообразованія. Точно также подобный способъ примѣнимъ для быстраго увеличенія въ необходимыхъ случаяхъ образованія пара, для „форсировки“ котла (конечно это не экономично). Возможность увеличенія производительности котла заключается въ томъ, что благодаря усиленному подводу воздуха черезъ рѣшетку могутъ сгорать большія количества угля; такъ какъ при этомъ разрѣженіе воздуха въ дымовыхъ каналахъ получается не больше, чѣмъ это имѣло бы мѣсто при удлиненіи дымовой трубы, то при этомъ не происходитъ бóльшаго всасыванія черезъ щели дымоходовъ вреднаго воздуха.

Улучшеніе тяги при слишкомъ узкихъ или низкихъ, худо вытягивающихъ дымовыхъ трубахъ устройствомъ въ нихъ вентиляторовъ было описано уже ранѣе.

Топка паровыхъ котловъ, приспособленная для жидкихъ топливъ. Въ заключеніе остается еще вкратцѣ описать приспособленіе для сжиганія въ паровыхъ котлахъ жидкихъ топливъ. Рис. 389 представляетъ такое приспособленіе для нефтяной топки при Корнваллійскомъ котлѣ; жидкое топливо, нефть, мазутъ или деготь распыляются въ пароструйномъ распылителѣ (форсункѣ) посредствомъ струи пара или струи изъ смѣси воздуха и пара при выходѣ его изъ приточной трубы и распыленными вдуваются въ топку. При тяжелыхъ, густыхъ жидкостяхъ, какъ деготь, мазутъ и т. п., цѣлесообразно примѣненіе одного пара, такъ какъ при этомъ дутье сильнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если ранѣе паромъ всасывается воздухъ, а также вслѣдствіе того, что паръ, благодаря своей высокой температурѣ, содѣйствуетъ разжиженію топлива. При легкихъ жидкостяхъ, какъ керосинъ, вмѣсто пара можно примѣнять воздухъ подъ давленіемъ тамъ, гдѣ онъ имѣется въ распоряженіи. На рис. P представляетъ трубу, по которой притекаетъ топливо, D паропроводъ; выходящая изъ наконечника паровой трубы струя пара въ Z наклонно къ наконечнику трубы, по которой притекаетъ топливо, увлекаетъ съ собою вытекающее топливо, причемъ оно сильно раздробляется и распыляется и свободно сжигается въ жаровой трубѣ съ под-

водимымъ снизу воздухомъ; притокъ воздуха полезно регулировать заслономъ такимъ образомъ, чтобы притекало такое только его количество, которое необходимо для полнаго сжиганія. При примѣненіи керосина, для пуска въ ходъ необходимо сперва растопить топку дровами, укладываемыми на рѣшетку, затѣмъ керосинъ уже горитъ далѣе самъ безъ особыхъ растопокъ; деготь напр. по большей части примѣняется наоборотъ въ видѣ прибавки къ твердымъ топливамъ и вдувается на нихъ, такъ какъ онъ при своей малой текучести не можетъ поддерживать постоянно горѣнія, какъ нефть или нефтяные остатки (мазутъ).



890. Инжекторъ Жиффара.

Въ Россіи примѣненіе топки съ нефтяными остатками распространено во всемъ государствѣ, послѣ того какъ удалось устроить приборы для раціональнаго полнаго ихъ сжиганія; благодаря этому не только колоссальная русская нефтяная промышленность была поставлена на новыхъ основаніяхъ, такъ какъ значительныя количества ранѣе безцѣнныхъ остатковъ отъ перегонки нефти стали примѣняться съ экономическими цѣлями, но и для всей русской промышленности вообще введеніе нефтяной топки имѣетъ громадное значеніе. Во всемъ московскомъ фабричномъ районѣ уже много лѣтъ примѣняемые нефтяные остатки по большей части вытѣснили топку паровыхъ котловъ дровами или углемъ и при большихъ успѣхахъ, достигнутыхъ въ приспособленіяхъ для перевозки нефтяныхъ продуктовъ, нефтяная топка распространяется все болѣе и болѣе. Въ Сѣверной Америкѣ наоборотъ, не смотря на мощныя залежи нефти, нефтяная топка котловъ вмѣсто угольной примѣняется относительно рѣдко, такъ какъ тамъ имѣются колоссальныя залежи угля и онъ сравнительно очень дешевъ.

Большое преимущество топки жидкимъ топливомъ очевидно. Не принимая во вниманіе мѣстныхъ условій относительно цѣнности нефти или мазута и каменнаго угля, которая во всякомъ случаѣ является наиболѣе важнымъ факторомъ и служитъ главнымъ критеріумомъ для примѣненія того или другого топлива; преимущества эти заключаются главнымъ образомъ въ большемъ удобствѣ при обслуживаніи и въ большей чистотѣ при работѣ. Вся работа при нефтяной топкѣ заключается въ установкѣ регулирующаго притокъ пара крана, и кромѣ того въ исправномъ содержаніи и въ регулярной

чисткѣ наконечника подводящей нефть трубы; опытный кочегаръ, отъ ловкости и умѣнья котораго при угольной топкѣ въ большой степени зависитъ экономія въ углѣ, здѣсь излишенъ; нѣтъ необходимости имѣть здѣсь настоящаго кочегара, въ обыкновенномъ смыслѣ этого слова, достаточно имѣть *только сторожа при котлѣ; сторожъ легко можетъ обслуживать нѣсколько* котловъ въ одной котельной.

Принадлежности паровыхъ котловъ. Разсмотримъ теперь наиболѣе необходимыя принадлежности парового котла; объ одной мы уже ранѣе упоминали, это задвижка дымовой трубы, служащая для регулированія тяги. Для возобновленія воды въ котлѣ служатъ питательные насосы; каждый котелъ долженъ имѣть два независимыхъ питательныхъ насоса, изъ которыхъ по крайней мѣрѣ одинъ долженъ быть независимымъ отъ работы соотвѣтствующей паровой машины. Обыкновенно въ ходу два вида питательныхъ приспособленій: насосы, приводимые въ движеніе паровой машиной или представляющіе изъ себя самостоятельные паровые насосы, и пульверизаціонные насосы или инжекторы, приводимые въ дѣйствіе непосредственно паромъ изъ котла. Первая, нашедшая примѣненіе на практикѣ конструкція инжектора изобрѣтена въ 1858 г. французскимъ инженеромъ Жиффаромъ; она изображена въ разрѣзѣ на рис. 890. По паропроводу *A* съ краномъ *H* протекаетъ паръ подъ давленіемъ изъ котла черезъ отверстія въ *трубѣ B, оканчивающейся внизу сопломъ C; послѣднее входитъ въ камеру D*, соединенную при посредствѣ трубы *b* съ водоподводной или всасывающей трубой; камера снизу оканчивается конической трубой *E*. Струя пара, выходя черезъ сопло увлекаетъ воду изъ водяной камеры и заставляетъ ее идти въ видѣ струи въ *R* черезъ лежащую напротивъ насадку *C* въ трубу *K* и черезъ питательный клапанъ *V* въ трубу *L* и затѣмъ въ котелъ. Часть воды не попадаетъ въ сопло *G*, но собирается въ камерѣ *R*, откуда она стекаетъ по трубѣ *S*. При помощи регулировочнаго конуса, устанавливаемаго рукояткой *M*, возможно съуживать просвѣтъ парового сопла и такимъ образомъ регулировать притокъ пара и вмѣстѣ съ тѣмъ работу инжектора. Болѣе подробное описаніе пульверизаціонныхъ насосовъ, напр. универсальнаго инжектора Кертинга для питанія котловъ. можно найти въ первомъ отдѣлѣ настоящаго тома.

Другія, имѣющіяся при каждомъ котлѣ принадлежности, обозначаемыя однимъ названіемъ „арматура котла“, главнымъ образомъ имѣютъ въ виду мѣры безопасности, а также наблюденіе надъ давленіемъ пара и уровнемъ *воды въ котлѣ. Изъ первыхъ главнымъ слѣдуетъ считать* предохранительный клапанъ; онъ устанавливается на котлѣ, при сложныхъ котлахъ на верхнемъ котлѣ, при котлахъ съ паровымъ колпакомъ на послѣднемъ или сбоку его Предохранительные клапаны устраиваются съ пружинами или съ рычагами и грузомъ; въ обоихъ случаяхъ клапанъ, закрывающій достаточно большое отверстіе для выпуска пара, извнѣ такъ нагружается въ направленіи, противуположномъ внутреннему давленію пара, что при нѣкоторой опредѣленной величинѣ давленія пара въ котлѣ, это послѣднее преодолѣетъ внѣшнее давленіе груза, клапанъ откроется и такимъ образомъ паръ будетъ имѣть свободный выходъ. Этимъ предотвращается повышеніе давленія пара въ котлѣ выше допустимаго наивысшаго давленія. На передней сторонѣ котла помѣщается манометръ, соединенный съ внутреннимъ пространствомъ котла; шкала подобнаго манометра показываетъ давленіе въ атмосферахъ или въ килограммахъ на кв. сант. Далѣе при котлахъ помѣщаются по большей части двойныя водомѣрныя трубки, находящіяся въ соединеніи съ водянымъ пространствомъ котла и позволяющія видѣть уровень воды въ послѣднемъ; вода не должна никогда опускаться ниже нѣкоторой извѣстной высоты, опредѣляемой тѣмъ, чтобы всѣ находящіяся въ соприкосновенія съ горячими

газами мѣста стѣнокъ котла въ первомъ и во второмъ дымоходахъ были покрыты водою, такъ чтобы получаемую теплоту они могли отдавать непосредственно водѣ, благодаря чему было бы устранено большое нагрѣваніе или доведеніе почти до накаливанія стѣнокъ котла. Нѣкоторые котлы снабжаются еще дальнѣйшими предохранительными средствами, напр. поплавкомъ, который при опусканіи уровня воды ниже допустимаго самаго низшаго положенія приводитъ въ дѣйствіе электрическій звонокъ для предупрежденія кочегара и для напоминанія о впускѣ свѣжей питательной воды. Наконецъ каждый котелъ имѣетъ отверстіе, по большей части овальной формы, закрываемое крышкой, настолько большое, что черезъ него можетъ войти въ котелъ человѣкъ для его осмотра и въ особенности для періодическаго удаленія осѣвшей котельной накипи.

Котельная накипь и взрывы котловъ. Образованіе котельной накипи представляетъ одно изъ самыхъ непріятныхъ явленій при работѣ котловъ и можетъ вызывать опасность взрыва котла. Явленіе это заключается въ томъ, что растворенныя въ питательной водѣ соли, въ особенности углекислый кальцій и углекислый магній, выдѣляются при испареніи воды и осѣдаютъ на днѣ и стѣнкахъ котла. Въ цилиндрическомъ котлѣ и въ котлѣ съ жаровою трубою безъ циркуляціи воды это осѣданіе происходитъ главнымъ образомъ на поверхностяхъ, находящихся въ соприкосновеніи съ горячими газами, такъ какъ именно здѣсь и происходитъ наиболѣе сильное испареніе воды. Котельная накипь насѣдаетъ въ видѣ твердой коры на стѣнки котла; ее возможно удалить только скалываніемъ молотомъ. При котлахъ съ сильной циркуляціей, напр., при водотрубныхъ котлахъ, прямое осѣданіе и спеканіе уменьшено, такъ какъ постоянными токами воды выдѣленныя составныя части котельной накипи увлекаются и осѣдаютъ на днѣ въ видѣ грязи въ такихъ частяхъ котла, гдѣ меньше движенія воды, напр., въ верхнемъ котлѣ. Толщина образовавшейся котельной накипи зависитъ отъ содержанія составныхъ частей котельной накипи въ питательной водѣ или, какъ говорятъ, отъ жесткости воды; за градусъ (нѣмецкій) жесткости воды принимается такая вода, гдѣ одна вѣсовая часть углекислаго кальція или эквивалентное ему, т. е. равнозначное въ химическомъ отношеніе количество углекислаго магнія растворено въ 100 000 частяхъ воды; вода въ 10—12 нѣмецкихъ градусовъ жесткости считается еще мягкою и годною для питанія паровыхъ котловъ, тогда какъ вода выше 16 градусовъ жесткости считается уже жесткою. Жесткость воды зависитъ отъ того, откуда вода получена; дождевая вода совсѣмъ мягкая, она почти не содержитъ составныхъ частей котельной накипи, такъ какъ при испареніи, какимъ образомъ и образуются облака и всѣ осадки, растворимыя соли выдѣляются; дождевая вода представляетъ поэтому изъ себя естественнымъ образомъ дестиллированную воду; она только загрязнена примѣсью растворимыхъ составныхъ частей воздуха; вслѣдствіе этого и рѣчная вода, въ виду того, что рѣки питаются главнымъ образомъ поверхностной водой, а не грунтовою, по большей части бываетъ мягкою и годною для питанія паровыхъ котловъ; грунтовая вода и вода источниковъ наоборотъ постоянно содержитъ минеральныя соли, растворенныя при просачиваніи черезъ слои почвы; она по большей части жестче и степень жесткости ея зависитъ отъ особенностей почвы. Грунтовая вода въ 25 и выше градусовъ жесткости совсѣмъ не годится для питанія котловъ, такъ какъ при ней въ котлѣ въ короткое время образуются громадные осадки котельной накипи. Въ подобныхъ случахъ отъ образованія накипи можно избавиться предварительнымъ освобожденіемъ воды отъ всѣхъ или большей части составныхъ частей котельной накипи и сдѣлать воду мягкою; этого можно достигнуть выдѣленіемъ ихъ извѣстными химическими веществами; выдѣленіе это можно производить въ особыхъ приборахъ, такъ что въ котелъ

будетъ попадать только очищенная, не содержащая составныхъ частей котельной накипи вода. Этотъ способъ, конечно, лучшій и существуетъ рядъ приборовъ и приспособленій, при помощи которыхъ это достигается всего лучше и проще. Болѣе дешевый и менѣе совершенный способъ очищенія питательной воды заключается въ томъ, что въ котелъ вводятся вмѣстѣ съ питательною водою такія химическія вещества, которыя выдѣляютъ составныя части котельной накипи въ видѣ мягкаго осадка, легче удаляемаго при чисткѣ котла, чѣмъ спекшаяся настоящая котельная накипь. При обоихъ способахъ вѣрный выборъ и количество прибавляемыхъ веществъ могутъ быть опредѣлены только по подробному химическому изслѣдованію воды и послѣ опытовъ надъ нею, произведенныхъ спеціалистами. Понятно, всегда будутъ восхваляться шарлатанскими рекламами разныя „средства противъ образованія котельной накипи“, которыя должны по шаблону годиться для любой воды; часто такое средство либо совсѣмъ, либо почти не дѣйствуетъ, иногда даже оно прямо вредно для котла, такъ какъ дѣйствуетъ на стѣнки котла. На такія выхваленія, если только они прямо не представляются абсурдомъ, слѣдуетъ всегда смотрѣть съ большою осторожностью.

При нѣкоторыхъ условіяхъ котельная накипь можетъ, какъ уже выше было указано, повести къ опасности взрыва котла; если на стѣнкахъ котла, непосредственно прилегающихъ къ горячимъ газамъ, въ особенности при цилиндрическихъ котлахъ и при котлѣ съ дымогарными трубами, образуется внутри толстая кора котельной накипи, то она сильно мѣшаетъ передачѣ тепла водѣ въ котлѣ. Вслѣдствіе этого сперва уменьшаются работоспособность котла и экономія въ топливѣ; наконецъ, можетъ дойти до того, что стѣнки котла вслѣдствіе худой отдачи тепла накалятся до красна и явится условіе для разрыва котла въ этомъ мѣстѣ, т. е. это поведетъ къ взрыву котла.

Опасность взрыва не можетъ быть устранена совершенно въ ненастоящихъ безопасныхъ паровыхъ котлахъ даже и при отсутствіи котельной накипи и при соблюденіи всѣхъ мѣръ предосторожности; всегда безопасность котла зависитъ отъ вниманія и надежности кочегара. Совершенно исключая въ высшей степени предосудительное, считающееся за худшее и запрещенное закономъ закрѣпленіе или перегрузку предохранительнаго клапана, которыя иногда дѣлаются для того, чтобы можно было работать съ болѣе высокимъ давленіемъ, чѣмъ то, которое соотвѣтствуетъ допустимому и разрѣшенному установкою предохранительнаго клапана, стоитъ только кочегару перестать наблюдать нѣкоторое время за уровнемъ воды, прекратить на нѣкоторое время необходимый притокъ свѣжей питательной воды, чтобы явилась возможность взрыва котла вслѣдствіе недостатка воды въ немъ. Ежегодно много человѣческихъ жизней приносятся въ жертву взрывамъ паровыхъ котловъ, большія суммы работы и капиталовъ уничтожаются, плоды многолѣтнихъ трудовъ въ нѣсколько секундъ обращаются въ мусоръ и развалины. По статистическимъ даннымъ въ Германіи въ періодъ времени съ 1877 г. по 1887 было 168 случаевъ взрывовъ котловъ, причемъ было убито 177 лицъ, ранены 97 тяжело и 244 легко. Самый страшный взрывъ былъ въ 1887 года на желѣзодѣлательномъ заводѣ Фриденсгютте въ верхней Силезіи; въ ночь съ 24 на 25 іюля взлетѣли на воздухъ одновременно 22 котла, причемъ было убито 12 человѣкъ и ранено 35.

Благотворна сила огня,
Если человѣкъ ее обуздаетъ и будетъ за нею смотрѣть.

Человѣкъ, благодаря своему уму, сдѣлалъ полезными силы природы, въ особенности огонь, послѣ того какъ научно изучилъ его свойства; это же знаніе его дѣйствія даетъ намъ право и заставляетъ насъ примѣнять предохранительныя мѣры, чтобы эти силы не вызывали разрушенія и раззоренія.

Принципъ дѣйствія и отдача паровыхъ машинъ.

Дѣйствіе котла. Дѣйствіе водяного пара въ цилиндрѣ. Паровая машина безъ расширенія; расширеніе; охлажденіе. Круговой процессъ. Отдача пароваго котла и паровой машины. Потребленіе пара и угля при различныхъ паровыхъ машинахъ. Возможность улучшенія паровыхъ машинъ.

Уже при историческомъ изложеніи техническаго развитія паровыхъ машинъ мы вкратцѣ изложили способъ дѣйствія какъ старыхъ, такъ и болѣе новыхъ машинъ; здѣсь мы войдемъ въ нѣкоторыя подробности относительно принципа дѣйствія паровыхъ машинъ.

Способъ дѣйствія паровыхъ машинъ всѣхъ конструкцій одинъ и тотъ же; во всѣхъ при помощи нагрѣванія воды въ нѣкоторомъ резервуарѣ, — котлѣ, изъ нея получается паръ, приводящій при работѣ машины въ движеніе въ цилиндрѣ поршень, попеременно въ ту и въ другую сторону. Нагрѣваніемъ вода въ котлѣ сперва доводится до кипѣнія; дальнѣйшій притокъ тепла не вызываетъ затѣмъ дальнѣйшаго повышенія температуры, но идетъ на превращеніе воды въ паръ; это тепло переходитъ въ скрытую теплоту испаренія воды, именно для испаренія каждаго килограмма воды при температурѣ ея кипѣнія требуется 536 калорій; котелъ заключаетъ теперь въ себѣ воду температуры кипѣнія и насыщенный паръ температуры 100° Ц. и атмосфернаго давленія. При дальнѣйшемъ нагрѣваніи вступаютъ въ силу законы, характеризирующіе состояніе пара при перемѣнныхъ температурѣ и давленіи; нѣкоторое дальнѣйшее количество воды испаряется; вновь выдѣлившійся паръ долженъ увеличить въ замкнутомъ пространствѣ упругость уже бывшаго тамъ пара; съ другой стороны, такъ какъ при высшемъ давленіи температура кипѣнія воды лежитъ выше 100° Ц., то произойдетъ одновременное нагрѣваніе воды и пара выше 100°. Упругость пара и его температура при продолжающемся притокѣ тепла такимъ образомъ повышаются въ извѣстномъ соотношеніи, такъ что напримѣръ при давленіи пара въ котлѣ въ пять атмосферъ температура его достигаетъ 152° Ц. Паръ въ котлѣ всегда почти насыщенъ; при всякомъ уменьшеніи температуры часть его сгущается, при повышеніи же температуры увеличивается его упругость; по большей части въ парѣ находятся въ подвѣшенномъ состояніи мелкіе пузырьки воды, въ особенности при энергичномъ кипѣніи воды; такой паръ называется мокрымъ, въ отличіе отъ пара, не содержащаго воды — сухого. Котелъ такимъ образомъ одновременно служитъ и для образованія пара, и для его сгущенія; онъ содержитъ нѣкоторый запасъ вещества — водяного пара, заключающаго въ себѣ въ запасѣ нѣкоторое количество тепла, т. е. энергіи и благодаря своимъ особеннымъ свойствамъ весьма пригоднаго для отдачи этой энергіи, для полученія механической работы.

Преобразованіе это происходитъ въ цилиндрѣ паровой машины; при этомъ паръ можетъ дѣйствовать различными способами. Самый простой способъ былъ бы тотъ, когда поршни приводились бы въ движеніе притекающимъ въ цилиндръ попеременно то съ одной стороны ихъ, то съ другой стороны изъ котла паромъ. Подобную машину, которую можно было бы назвать паровою машиною, дѣйствующею безъ расширенія пара, собственно нельзя считать за калорическую машину; получаемая въ цилиндрѣ энергія происходитъ не отъ тепла или энергіи заключающагося въ цилиндрѣ пара; послѣдній является скорѣе только чисто механической и индифферентной промежуточной средой, совершенно такъ же, какъ напр. вода подъ давленіемъ, приводящая въ дѣйствіе водостолбовую машину давленіемъ высокаго столба воды или вѣсомъ аккумулятора; энергія доставляется котломъ; онъ дѣйствуетъ послѣдовательными толчками на промежуточную среду — находя-

щійся въ трубопроводахъ и цилиндрѣ паръ; послѣдній оставляетъ цилиндръ съ тѣмъ же давленіемъ и съ тою же температурою, т. е. съ тою же энергіей, какія онъ имѣлъ при входѣ въ цилиндръ. Цилиндръ при этомъ представляетъ, такъ сказать, часть котла; при движеніи поршня впередъ увеличивается объемъ находящагося въ соединеніи съ котломъ пространства въ цилиндрѣ, весь объемъ котла и цилиндра увеличивается и при этомъ происходитъ соотвѣтствующее уменьшеніе давленія, которое сейчасъ же, въ ту же минуту доводится до прежняго вновь выдѣляющимся паромъ. Дѣйствительное полученіе энергіи при такомъ расположеніи происходило бы непосредственно только у стѣнокъ котла, благодаря притоку тепла извнѣ и примѣненію его для полученія пара подъ давленіемъ. Такія паровыя машины безъ расширенія въ дѣйствительности не строятся; вполнѣ ясно, что онѣ работали бы очень не экономично, такъ какъ въ нихъ, какъ уже упомянуто ранѣе, отработавшій паръ при перемѣнѣ направленія движенія поршня выходитъ изъ цилиндра не охлаждаясь, т. е. обладая энергіею, остающеюся не утилизированной.

Эта энергія проявляетъ свое дѣйствіе только тогда, когда прервано соединеніе между котломъ и цилиндромъ; тогда только можно примѣнить для полученія работы работоспособность отдѣленнаго въ цилиндрѣ количества пара. Для этой цѣли впускъ пара въ цилиндръ постоянно запирается въ то время, когда поршень совершитъ только часть своего хода; отсѣченный въ цилиндрѣ паръ дѣйствуетъ затѣмъ однимъ расширеніемъ, онъ давитъ вслѣдствіе своей упругости на поршень, причемъ вслѣдствіе все увеличивающагося при этомъ его объема, давленіе и одновременно его температура все уменьшаются. Получаемая при этомъ работа точно эквивалентна количеству потеряннаго паромъ тепла; входъ свѣжаго пара въ цилиндръ называется впускомъ пара и продолжительность его называется переходомъ впуска; отношеніе хода поршня за время впуска къ полной длинѣ хода поршня называется наполненіемъ или степенью наполненія цилиндра; слова „машина работаетъ съ наполненіемъ въ $^1/_3$" означаютъ, что въ теченіи $^1/_3$ хода поршня открытъ впускъ пара и дѣйствуетъ такимъ образомъ полное давленіе пара; въ остальныя $^2/_3$ хода поршня паръ работаетъ только расширеніемъ. Вся работа, доставляемая за время одного хода поршня, состоитъ изъ двухъ частей — одна во время впуска пара, какъ мы видѣли ранѣе, доставляется непосредственно котломъ при постоянныхъ давленіи и температурѣ, другая за время расширенія пара доставляется внутренней энергіей пара. Чѣмъ меньше первая часть, тѣмъ больше послѣдняя, т. е. чѣмъ менѣе наполненіе и чѣмъ далѣе идетъ расширеніе, тѣмъ экономичнѣе, по теоріи, должно быть дѣйствіе машины, такъ какъ тѣмъ совершеннѣе утилизація энергіи пара. При машинахъ безъ холодильника предѣлъ способности расширяться достигается тогда, когда давленіе пара въ цилиндрѣ равно внѣшнему давленію воздуха, т. е. равно одной атмосферѣ (абсолютная упругость, т. е. безъ избытка давленія); при этомъ расширеніи паръ охлаждается до 100° Ц. При перемѣнѣ хода поршня отработавшій паръ выпускается въ воздухъ. *Онъ выталкивается, какъ обыкновенно говорятъ, почему эти машины и* называются выталкивающими. Въ машинахъ съ охлажденіемъ паденіе упругости и температуры и вмѣстѣ съ тѣмъ утилизація теплоты пара идутъ еще далѣе; если паръ давитъ на поршень въ теченіи всего времени подъема, то при обратномъ ходѣ поршня паръ идетъ въ холодильникъ, гдѣ онъ *и конденсируется впрыскиваніемъ холодной воды (холодильникъ съ внутреннимъ охлажденіемъ)* или протеканіемъ мимо охлажденныхъ поверхностей (поверхностный холодильникъ); при этомъ упругость его можетъ понизиться почти до нуля; это зависитъ отъ количества и температуры охлаждающей воды; если послѣдняя напр. нагрѣется охлаждаемымъ паромъ до 50° Ц., то

давленіе въ холодильникѣ доходитъ до 7 см. давленія столба ртути или $^1/_4$ атмосферы, т. е. существуетъ разрѣженіе въ 69 см.; въ цилиндрѣ такимъ образомъ существуетъ отрицательное давленіе по одну сторону поршня около $^{10}/_{11}$ атмосферы и на эту величину увеличивается давленіе пара на другую сторону поршня. Если же конденсаціонная вода идетъ къ насосу, питающему котелъ и опять подводится въ котелъ, какъ это обыкновенно на практикѣ и бываетъ, то мы имѣемъ кругооборотъ (круговой процессъ): вода въ нѣкоторомъ сосудѣ, — котлѣ, благодаря притоку извнѣ тепла, испаряется, въ другомъ замкнутомъ пространствѣ, цилиндрѣ, паръ отчасти отдаетъ тепло въ видѣ механической работы и наконецъ вслѣдствіе дальнѣйшаго отнятія тепла опять переходитъ въ холодильникѣ въ воду начальной температуры и затѣмъ снова переводится въ котелъ.

Можно было бы полагать, что такимъ круговымъ процессомъ достигается весьма хорошая утилизація всего затраченнаго количества тепла и такимъ образомъ, казалось бы — задача превращенія тепла въ механическую работу могла бы быть рѣшена близко къ идеальному случаю; если же мы нѣсколько ближе разсмотримъ весь процессъ, всѣ расходы и то, что получается, именно сравнимъ доставляемое благодаря сгоранію угля количество тепла и получаемую механическую работу, то найдемъ, что всегда только очень незначительная часть теплоты горѣнія топлива превращается въ полезную механическую работу. При полномъ сгораніи опредѣленнаго топлива выдѣляется опредѣленное количество тепла; напр. при хорошихъ сортахъ каменнаго угля выдѣляется при сгораніи 1 кгр. 7500—8000 калорій; прежде всего паровые котлы какъ лучшихъ конструкцій, съ дымогарными топками, такъ и съ совершенною газовою топкою никогда не утилизируютъ всей теплотворной способности топлива на нагрѣваніе воды въ котлѣ; много тепла теряется на лучеиспусканіе, въ большинствѣ случаевъ на несовершенное сгораніе или на избытокъ въ притокѣ воздуха, на неизбѣжное безполезное для горѣнія нагрѣваніе азота атмосфернаго воздуха, точно также въ особенности на сильное и по большей части до высокой температуры нагрѣваніе выходящихъ въ дымовую трубу газовъ, необходимое для существованія тяги. Вслѣдствіе этого паровые котлы работаютъ вообще съ термическимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія, не бо́льшимъ 60—80 $^0/_0$, т. е. они передаютъ водѣ въ котлѣ и черезъ ея посредство далѣе водянымъ парамъ только эту часть теплоты горѣнія топлива; выражая это цифрами, можно сказать, что въ хорошемъ котлѣ 1 кгр. угля развиваетъ изъ 1 кгр. воды, имѣвшей температуру около 20^0 Ц., около 7—9 кгр. пара подъ давленіемъ въ 6 атмосферъ. Полученное при этомъ количество тепла или энергія тратится далѣе въ паровой машинѣ, причемъ термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія ея очень не великъ. Паровая машина только весьма незначительную часть заключеннаго въ парѣ количества тепла въ состояніи превратить въ полезную живую силу, механическую работу, которую можно затѣмъ получить отъ поршневыхъ стержней *или колѣнчатаго вала или ими ее передать. Причина этого лежитъ въ томъ,* что посредникъ всей передачи, носитель энергіи — водяной паръ ни при какихъ обстоятельствахъ не возвращаетъ вполнѣ въ видѣ работы всей сообщенной ему въ формѣ тепла энергіи; мы можемъ весьма точно управлять всѣмъ ходомъ превращенія, можемъ всѣми возможными средствами устранить потери и всетаки всегда теряется громадная часть всего затраченнаго количества тепла, по крайней мѣрѣ для пользованія имъ въ видѣ механической работы; поэтому здѣсь ничего не могутъ измѣнить ни самыя совершенныя приспособленія для сжиганія угля, ни лучшее устройство котловъ, ни отличныя конструкціи паровыхъ машинъ; потеря эта скорѣе неразрывно связана съ самимъ принципомъ дѣйствія паровыхъ машинъ; она остается даже и въ томъ случаѣ, если мы не будемъ принимать во вниманіе неизбѣжныхъ, но

могущихъ быть доведенными до минимума конструктивными средствами вышеупомянутыхъ потерь въ котлѣ и дальнѣйшихъ потерь вслѣдствіе отдачи тепла стѣнками паропроводовъ и паровыхъ цилиндровъ, а также и всѣхъ потерь на треніе въ машинѣ. Въ паровыхъ машинахъ всегда утилизируется только разность количествъ тепла или паденіе температуры между температурою, соотвѣтствующею давленію пара въ котлѣ или давленію при впускѣ, и температурою, соотвѣтствующею давленію пара, выходящаго изъ машины; въ выходящемъ парѣ еще заключается скрытая теплота испаренія, которая сообщается водѣ въ котлѣ для образованія пара; это количество тепла, а также разность температуръ удаляющагося пара и питательной воды въ котлѣ не могутъ быть утилизированы для механической работы и они во всѣхъ случаяхъ являются въ видѣ потерь. При машинахъ съ выходомъ пара прямо въ воздухъ потеря эта ясна безъ дальнѣйшихъ объясненій, такъ какъ паръ, выходящій въ воздухъ, обладаетъ скрытою теплотою испаренія и температура его 100° Ц.; въ машинахъ съ холодильниками паръ нагрѣваетъ въ холодильникѣ воду, служащую для его охлажденія; если даже образовавшаяся изъ пара конденсаціонная вода извѣстной температуры и поступаетъ обратно въ котелъ, то всетаки вода, служившая для охлажденія, вытекаетъ изъ холодильника, обладая еще значительнымъ количествомъ тепла, отнятымъ ею отъ пара. Въ машинахъ съ охлажденіемъ, сравнительно съ машинами, выпускающими прямо въ воздухъ паръ 100° Ц., утилизируется еще только упругость пара отъ одной атмосферы почти до давленія въ 0, и соотвѣтственно этому паденіе температуры отъ 100° Ц. до 40° или 50° Ц. Если мятый паръ или теплая вода изъ холодильника могутъ быть примѣнены для другихъ цѣлей, напр. для нагрѣванія помѣщеній, какъ это часто и дѣлается, тогда утилизируется и скрытая теплота пара; это однако не имѣетъ ничего общаго съ дѣйствіемъ паровыхъ машинъ; для нихъ теплота испаренія остается потерянною.

Такъ какъ съ одной стороны потеря эта для извѣстнаго количества пара имѣетъ вполнѣ опредѣленную и постоянную величину, такъ какъ съ другой стороны при примѣненіи болѣе высокихъ давленій получается большая мощность, то при повышеніи давленія пара понижаются относительныя потери; это имѣетъ мѣсто въ особенности при машинахъ высокаго давленія безъ охлажденія; если въ нихъ паръ расширяется до давленія въ одну атмосферу, то напр. при упругости пара при впускѣ въ 2 атмосферы теоретически требуется степень наполненія въ 0,53 и для полученія напр. одной лошадиной силы теоретически требуется въ круглыхъ числахъ 21 кгр. пара; если же работаютъ при давленіи въ 8 атмосферъ, то необходима степень наполненія только въ 0,15 и потребленіе пара на ту же мощность падаетъ до 6,8 кгр. Если мы продолжимъ сравненіе далѣе для машинъ съ охлажденіемъ, при которыхъ въ холодильникѣ имѣется давленіе въ $^1/_8$ атмосферы, то при давленіи пара въ котлѣ въ 2 атмосферы имѣемъ степень наполненія въ 0,04 и теоретическій расходъ пара въ 3,8 кгр. на лошадиную силу; наоборотъ при 8 атмосферахъ давленія наполненіе равно 0,01 и расходъ пара 2,7 кгр. Числа эти конечно чисто теоретическія, опредѣленныя по даннымъ механической теоріи тепла; дѣйствительно необходимая степень наполненія и дѣйствительный расходъ пара всегда бываютъ значительно выше; числа эти однако убѣдительно показываютъ пользу высокихъ давленій, что уже давно и признано, и вошло во всеобщее употребленіе.

Пользуясь случаемъ, можно еще пояснить часто встрѣчающіяся на практикѣ понятія „эффективная“ и „индикаторная“ лошадиныя силы. Первая соотвѣтствуетъ смыслу самого слова; это полезная механическая работа въ лошадиныхъ силахъ, дѣйствительно передаваемая машиной на валъ или на балансиръ; индикаторная же лошадиная сила, наоборотъ, вычисляется

по давленію пара, дѣйствующему на поршень съ обѣихъ сторонъ его во всѣхъ его положеніяхъ при ходѣ поршня взадъ и впередъ; индикаторная сила обозначаетъ такимъ образомъ работу, переданную паромъ поршню; послѣдняя всегда больше эффективной, внѣ отдаваемой работы, и разница между ними зависитъ отъ потерь (сопротивленія) въ самой машины. Въ практической жизни индикаторная сила или расходъ пара на индикаторную силу имѣютъ значеніе только для конструктора машинъ, такъ какъ при опредѣленіи индикаторной работы приборомъ, служащимъ для этой цѣли, индикаторомъ, изобрѣтеннымъ еще Ваттомъ, конструкторъ можетъ точно изучить работу машины и узнать случайные ея недостатки, устраненіемъ которыхъ возможно повысить ея мощность. Для промышленниковъ пользующихся паровою машиною, имѣютъ значеніе только эффективная работа и то, сколько машина расходуетъ пара опредѣленнаго давленія на одну лошадиную силу.

Разсмотримъ теперь коэффиціенты полезнаго дѣйствія небольшой машины высокаго давленія безъ охлажденія (машины съ выпускомъ пара прямо на воздухъ), современной, средней величины, двуцилиндровой машины компаундъ — обѣ на давленіе въ 6 атмосферъ, и наконецъ большой и лучшей машины тройного расширенія. Расходъ пара въ небольшихъ машинахъ высокаго давленія весьма различенъ въ зависимости отъ ихъ конструкціи, болѣе или менѣе хорошаго приспособленія для парораспредѣленія посредствомъ золотниковъ, способа ихъ постройки и въ особенности отъ скорости движенія ихъ поршней; въ среднемъ можно принять расходъ пара въ 25 кгр. въ часъ при 6 атмосферахъ давленія пара при впускѣ; 1 кгр. пара при такомъ давленіи заключаетъ въ себѣ всего 635 калорій тепла (считая температуру питательной воды въ 20° Ц.); это количество тепла должно быть сообщено пару въ паровомъ котлѣ; такъ какъ по предъидущему 1 калорія (ср. I отдѣлъ) эквивалентна 425 кгрм., то слѣдовательно 1 кгр. пара обладаетъ энергіею въ $635 \times 425 = 269875$ кгрм. и доставляетъ $^1/_{25}$ лошадиной силы $= 3$ кгрм. въ секунду въ теченіи одного часа, т. е. $3 \times 60 \times 60 = 10800$ кгрм. работы; отдача при этомъ равна $\frac{10800}{269875} = 0{,}04$ или 4 %. Машина компаундъ средней величины съ двойнымъ расширеніемъ расходуетъ около 10 кгр. пара при 6 атмосферахъ давленія на эффективную лошадиную силу; подсчетъ показываетъ, что 1 кгрм. пара развиваетъ $^1/_{10}$ лошад. силы или 7,5 кгрм. въ секунду: отдача равна $\frac{7{,}5.3600}{269875}$ или около 10 %. Самыя большія и лучшія машины тройного расширенія, наоборотъ, расходуютъ только 6 кгр. пара, но при 10 атмосферахъ давленія при впускѣ; 1 кгр. развиваетъ такимъ образомъ 12,5 кгрм. въ секунду; количество тепла (исходя отъ температуры въ 20° Ц.) достигаетъ 642 калорій; какъ и ранѣе, находимъ отдачу въ $\frac{12{,}5.60.60}{642.425} = {}^1/_6$ или $16^1/_2$ %. Отработавшій паръ въ машинахъ высокаго давленія можетъ быть употребленъ съ пользою для подогрѣванія питательной воды; существуютъ различные простые приборы, при помощи которыхъ это достигается наиболѣе цѣлесообразнымъ способомъ; точно также и при машинахъ компаундъ и при машинахъ съ охлажденіемъ можно употреблять конденсаціонную воду прямо для питанія котловъ. Такъ какъ благодаря этому расходуется менѣе тепла на доведеніе воды въ котлѣ до кипѣнія, то отдача во всѣхъ этихъ случаяхъ бываетъ выше.

Если мы разсмотримъ далѣе, какое количество дѣйствительно потребленнаго тепла водяного пара паровая машина превращаетъ въ механическую; наботу, то мы должны принять въ разсчетъ только избытокъ количества ртепла въ парѣ въ начальномъ его состояніи, сравнительно съ конечнымъ количество тепла въ видѣ скрытой теплоты испаренія и той, которая является

благодаря тому, что выходящій паръ обладаетъ высшею температурою, чѣмъ первоначальная температура воды, слѣдуетъ исключить изъ общей тепловой энергіи пара, такъ какъ оно не утилизируется машиной, а можетъ быть примѣняемо только для другихъ цѣлей. Если принять это во вниманіе, то отдача лучшихъ большихъ машинъ компаундъ въ послѣднемъ примѣрѣ оказалось бы около 7[illegible] %. Такимъ образомъ, паровыя машины утилизируютъ сообразно принципу своего дѣйствія доставляемую имъ для превращенія въ механическую энергію часть тепловой энергіи (возможную для такого превращенія), также хорошо, какъ и лучшія вододѣйствующія колеса и тюрбины.

Весьма часто, даже почти всегда сравниваютъ непосредственно расходъ угля съ мощностью машины; вообще это сравненіе не вполнѣ правильно и не можетъ давать вѣрнаго представленія о достоинствѣ паровой машины, такъ какъ расходъ угля зависитъ также и отъ пароваго котла, качества и теплотворной способности угля. Машина, расходующая на лошадиную силу въ часъ 2 кгр. угля, можетъ работать лучше другой, расходующей только 1,5 кгр. угля, если въ первомъ случаѣ худо утилизируется теплота въ котлѣ. Только въ томъ случаѣ можно сравнивать непосредственно мощность машины съ расходомъ топлива опредѣленной теплотворной способности, когда разсматриваютъ котелъ и паровую машину вмѣстѣ, какъ одну общую установку, напр. доставленную однимъ и тѣмъ же заводомъ; вообще же слѣдуетъ различать мощность котла и мощность паровой машины. Первая характеризуется тѣмъ, сколько испарится углемъ опредѣленной теплотворной способности воды опредѣленной температуры и при опредѣленномъ давленіи; объ отдачѣ котла можно судить напр. по такимъ заданіямъ: 1 кгр. угля теплотворной способности въ 8000 калорій долженъ при 8 атмосферахъ давленія въ котлѣ испарять 7,5 кгр. питательной воды температуры 30° Ц.; ни одно изъ этихъ заданій не лишнее для сужденія о котлѣ. Наоборотъ, въ паровой машинѣ опредѣленной мощности имѣетъ значеніе количество расходуемаго пара опредѣленнаго давленія. Комбинаціей обѣихъ этихъ отдачъ конечно можно составить представленіе и объ общемъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія всей паровой установки, включая и котелъ, и судить объ эффективной мощности машины на килограммъ расходуемаго угля или, наоборотъ, о расходѣ угля на опредѣленную мощность, напр., лошадиную силу въ часъ. Напр., при отдачѣ котла въ 70% и паровой машины въ 10% (отнесенной ко всему количеству тепла, доставляемаго котломъ), вся паровая установка работаетъ съ отдачей въ 0,7 . 0,1 = 0,07 или 7%. Опредѣленіе отдачи непосредственно изъ количества сожженнаго угля и развиваемой при этомъ работы для всей установки значительно даже проще; при этомъ можно совсѣмъ не обращать вниманія на расходъ пара, на отдѣльныя мощности котла и паровой машины. Напр., если при мощности въ 1 лошадиную силу въ часъ сгораетъ 2,5 кгр. угля теплотворной способности въ 7500 калорій, то отдача непосредственно равна $\frac{75 \times 60 \times 60}{2{,}5 \,.\, 7500 \,.\, 425} = 4{,}5\%$.

Паровыя машины въ конструктивномъ отношеніи доведены до высокой степени совершенства и при современномъ способѣ ихъ дѣйствія онѣ стоятъ близко къ границѣ возможности усовершенствованія; послѣднее по изложенному выше зависитъ отъ самаго способа ихъ дѣйствія, такъ что нѣтъ возможности значительно увеличить ихъ отдачу одними конструктивными усовершенствованіями. Возможно достигнуть незначительнаго увеличенія ихъ отдачи примѣненіемъ еще бо̀льшихъ давленій, начиная съ 12 атмосферъ и выше; но и въ этомъ отношеніи скоро будетъ достигнутъ предѣлъ, съ одной стороны, въ виду требованій допустимой прочности матеріаловъ, съ другой стороны, вслѣдствіе того, что такія паровыя машины требуютъ вслѣдствіе сложности ихъ конструкціи бо̀льшихъ денежныхъ затратъ на ихъ устройство

и большей интеллигентности служебнаго персонала, — обстоятельства, которыя болѣе или менѣе уничтожаютъ преимущества, выражающіяся въ достиженіи бо́льшей экономіи въ парѣ и въ углѣ. Стремленію пользоваться паромъ, какъ носителемъ тепла и энергіи, какъ передаточнымъ средствомъ для превращенія теплоты горѣнія угля въ механическую работу при помощи машинъ на основаніи новыхъ принциповъ болѣе совершеннымъ образомъ, чѣмъ это достигается теперь, мѣшаетъ то обстоятельство, что такія цѣнныя свойства водяного пара для передачи тепла и работы, какъ дешевизна, легкая примѣнимость и безопасность такого матеріала какъ вода, точно также, какъ и ея высокая удѣльная теплота, неразрывно связаны съ вредными свойствами высокой температуры кипѣнія и большой теплоты испаренія. Если бы мы имѣли достаточно дешевый матеріалъ, который обладалъ бы первыми свойствами, но при этомъ кипѣлъ бы при 25° Ц. и имѣлъ бы теплоту испаренія въ 100 калорій, тогда весь вопросъ о полученіи энергіи былъ бы обоснованъ на совершенно другихъ принципахъ; тогда было бы возможно при помощи калорическихъ машинъ при примѣненіи этого матеріала получать отъ угля, вмѣсто 5—10%, 25—40% тепла; тогда всѣ другія машины двигатели на большую мощность не выдержали бы сравненія съ этой идеальной калорической машиною.

Существуетъ, однако, способъ передачи при помощи водяного пара тепла и работы болѣе экономичный, чѣмъ это изложено выше; въ послѣднее время способъ этотъ примѣняется съ успѣхомъ и, быть-можетъ, вызоветъ измѣненія въ машиностроеніи, подобно тому, какъ ранѣе подобное случилось при введеніи машинъ съ охлажденіемъ; способъ этотъ заключается въ перегрѣваніи водяного пара; о немъ будетъ изложено еще далѣе.

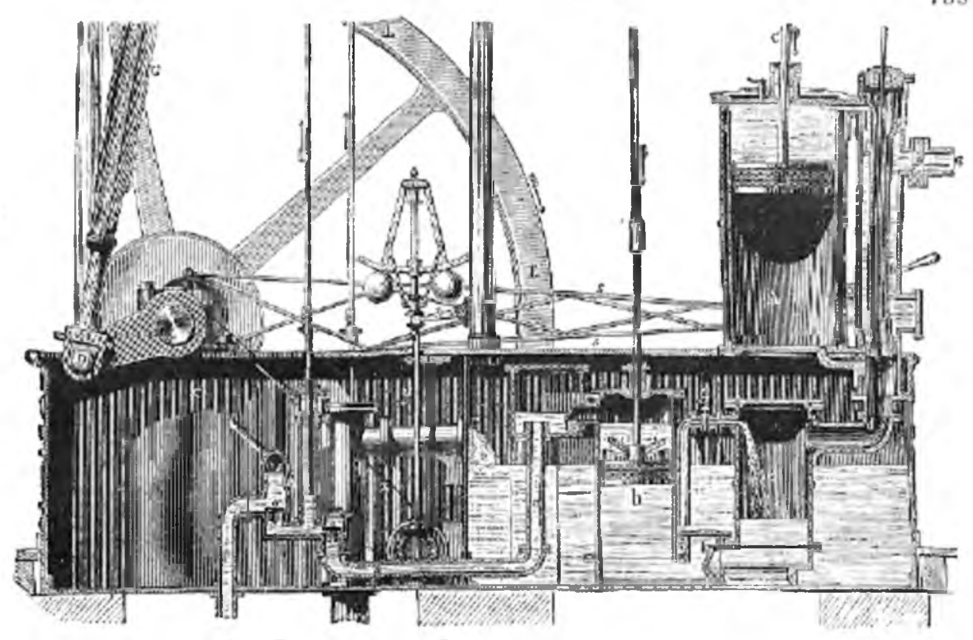
Принципъ дѣйствія паровыхъ машинъ многократнаго расширенія или машинъ компаундъ такой же, какъ и описанный обыкновенныхъ машинъ съ расширеніемъ и охлажденіемъ. Тогда какъ простая машина съ расширеніемъ работаетъ или какъ машина высокаго давленія (безъ охлажденія), или какъ машина съ охлажденіемъ, машины компаундъ постоянно устраиваются съ охлажденіемъ. Такъ какъ онѣ работаютъ по тому же принципу, какъ и одноцилиндровыя машины съ охлажденіемъ, то теоретически онѣ имѣютъ тотъ же коэффиціентъ полезнаго дѣйствія; ихъ выгода лежитъ въ конструктивныхъ и практическихъ преимуществахъ, о которыхъ уже ранѣе было вкратцѣ изложено.

Конструкція паровыхъ машинъ.

Старая балансирная машина Ватта; паровая машина Ватта болѣе новой конструкціи; вертикальная одноцилиндровая машина высокаго давленія; горизонтальная машина съ выпускомъ пара въ воздухъ. Машина компаундъ съ ресиверомъ. Отдѣльныя части паровыхъ машинъ. Подраздѣленіе паровыхъ машинъ.

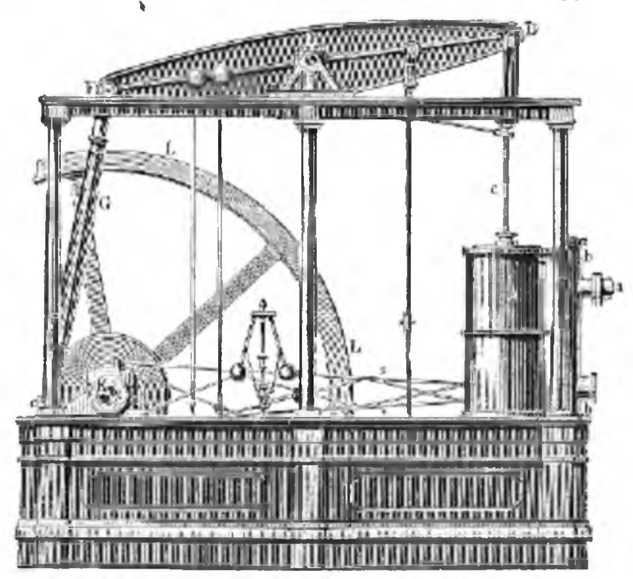
Послѣ предъидущаго общаго положенія принципа дѣйствія паровыхъ машинъ разсмотримъ конструкціи главнѣйшихъ системъ и начнемъ съ изображенной на рис. 891 и 892 старой машины Ватта, которая, какъ упомянуто уже ранѣе, содержитъ уже всѣ наиболѣе важныя конструктивныя части; въ продольномъ разрѣзѣ (рис. 891) изображена въ нѣсколько большемъ масштабѣ нижняя часть, тогда какъ рис. 892 представляетъ внѣшній видъ всей машины; буквенныя обозначенія на обоихъ рисункахъ совпадаютъ. На рисункахъ представлена балансирная машина двойного дѣйствія съ охлажденіемъ и съ маховикомъ, т.-е. машина Ватта болѣе поздней конструкціи.

A представляетъ вертикальный паровой цилиндръ, къ которому по трубѣ *a* подводится паръ; въ цилиндрѣ движется, плотно прилегая къ стѣнкамъ цилиндра, поршень *B*; паръ входитъ сперва въ золотниковую коробку *bb*; у



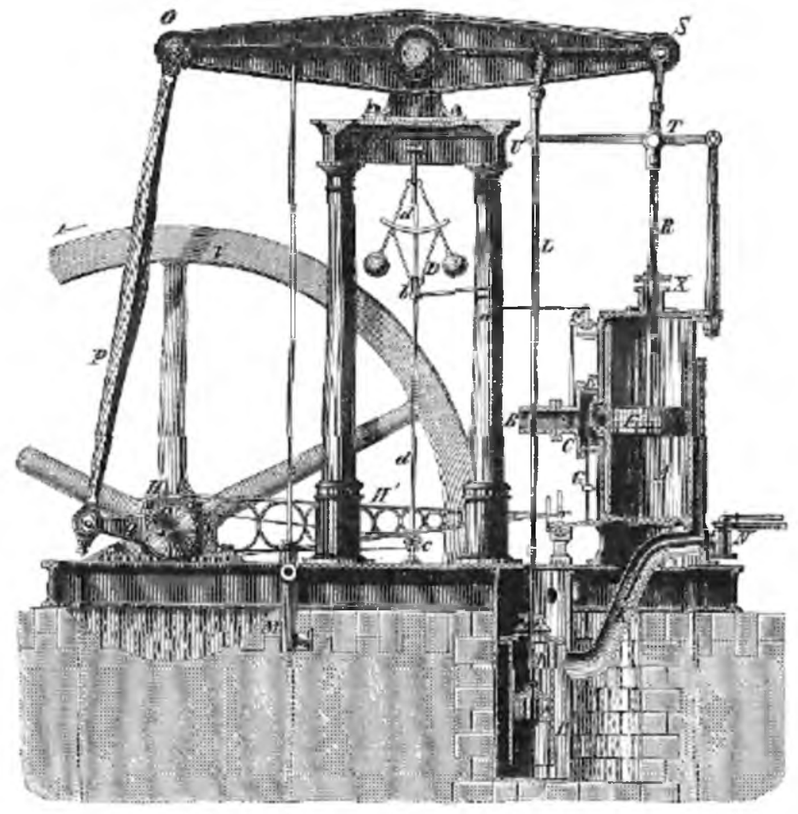
891. **Паровая машина Ватта двойного дѣйствія (сѣченіе).**
По Рело, „Исторія паровой машины“.

обоихъ концовъ цилиндра, непосредственно у дна и у его верхней части золотниковая коробка посредствомъ каналовъ соединяется съ внутреннимъ пространствомъ цилиндра; соединенія эти открываются поперемѣнно, то одно, то другое посредствомъ золотника *ss*, приводимаго въ движеніе вверхъ и внизъ черезъ посредство колѣнчатаго рычага движущейся впередъ и назадъ съ задней стороны машины тягой *Ss*; послѣдняя соединена съ эксцентрикомъ, о которомъ будетъ сказано далѣе, помѣщеннымъ на колѣнчатомъ валу *K*; благодаря этому движенію золотника паръ поперемѣнно поступаетъ то въ пространство надъ поршнемъ, то подъ поршень. Къ колѣнчатому рычагу шатуна *s* эксцентрика присоединена рукоятка, которою при пускѣ въ ходъ машины можно устанавливать золотникъ сперва въ ручную, такъ чтобы паръ входилъ поперемѣнно въ пространство сверху поршня и подъ поршень и машина пришла въ движеніе; дальнѣйшее же парораспредѣленіе происходитъ автоматически. На рисункѣ открыто отверстіе для впуска пара вверху, нижній же каналъ разобщенъ отъ парового пространства золотника; паръ поступаетъ такимъ образомъ въ пространство надъ поршнемъ и давитъ на послѣдній сверху внизъ; паръ, оставшійся подъ поршнемъ еще отъ предыдущаго хода поршня, выходитъ черезъ нижній каналъ и



892. **Паровая машина Ватта двойного дѣйствія.**
По Рело, „Исторія паровой машины“.

трубку d въ холодильникъ e; когда поршень дойдетъ до низу, золотникъ приметъ *прямо* противоположное положеніе; нижній каналъ будетъ отдѣленъ отъ холодильника и будетъ находиться въ соединеніи съ паровымъ пространствомъ золотника; наоборотъ, верхній каналъ вмѣсто соединенія съ паровымъ пространствомъ будетъ соединенъ съ камерой золотника, находящейся снизу въ сообщеніи съ трубкой d; теперь при поднятіи поршня паръ, находящійся надъ нимъ, можетъ переходить въ холодильникъ. Съ поршнемъ неизмѣнно связанъ поршневой стержень c, проходящій черезъ крышку парового цилиндра; для предупрежденія потери пара, здѣсь устроенъ сальникъ, допускающій движеніе стержня поршня вверхъ и внизъ безъ пропуска пара и воздуха. Поршневой стержень присоединенъ къ одному плечу (балансира) коромысла DEF при посредствѣ подвиж-

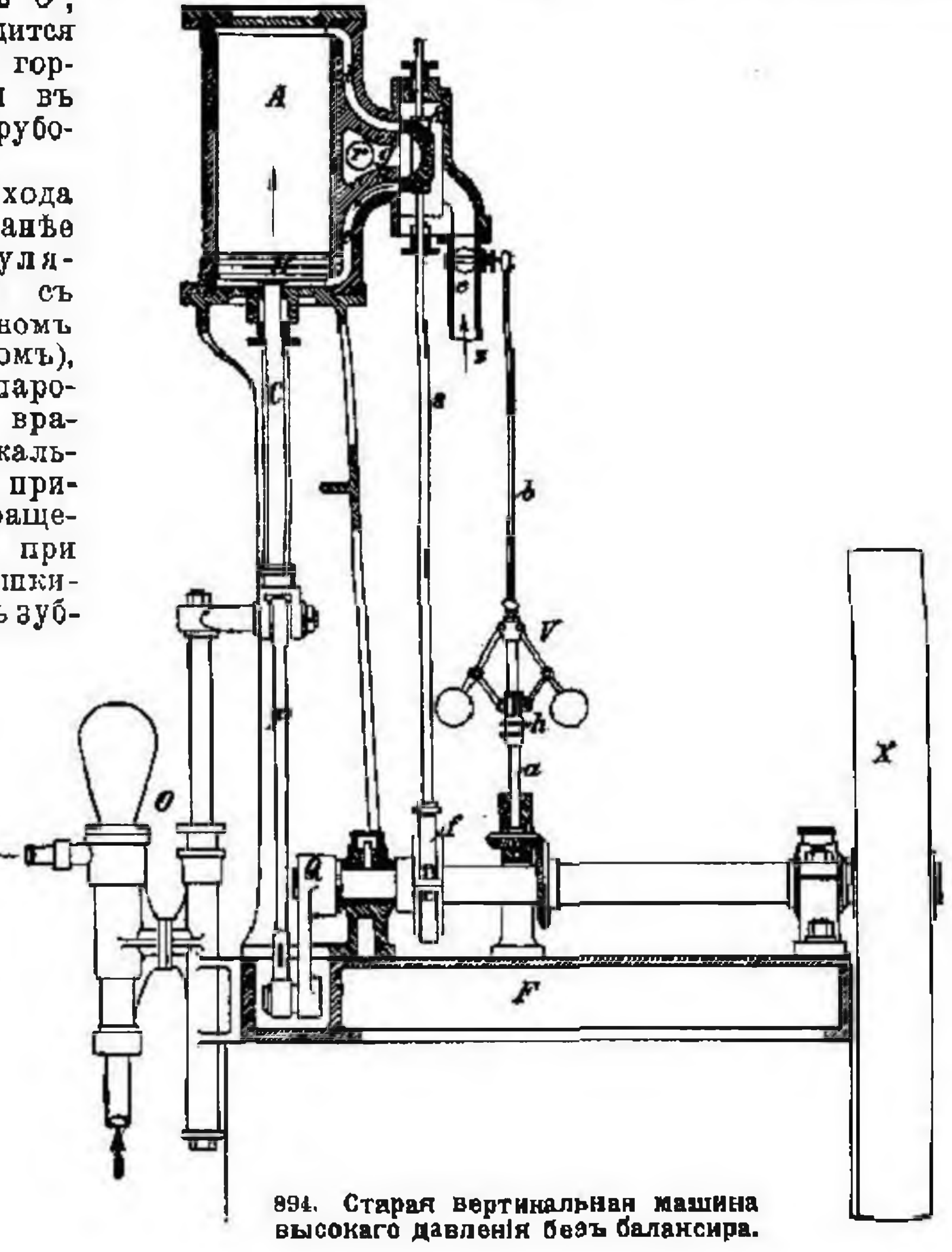


693. Паровая машина Ватта болѣе новой конструкціи.

наго скрѣпленія. Балансиръ представляетъ изъ себя прочный желѣзный рычагъ вѣсового коромысла, установленный проходящею въ средней его части осью на подшипникахъ E, расположенныхъ на машинномъ основаніи такимъ образомъ, что онъ имѣетъ возможность совершать маятникообразныя движенія вверхъ и внизъ; такимъ образомъ движеніе поршня передается посредствомъ поршневыхъ стержней балансиру. Къ противоположному плечу балансира въ точкѣ E присоединенъ шатунъ G, съ головкой шатуна H, дѣйствующій на кривошипъ и приводящій во вращеніе валъ K съ маховикомъ L; при каждомъ полномъ ходѣ (движеніе вверхъ и внизъ) поршня валъ совершаетъ такимъ образомъ одинъ оборотъ. Отъ вала энергія далѣе передается любымъ способомъ, напр. посредствомъ шкива и ременной передачи.

Машина Ватта имѣетъ еще слѣдующія составныя части, которыя встрѣчаются какъ въ другихъ машинахъ этого типа, такъ и въ большинствѣ другихъ машинъ. Въ нижней части машины, подъ ея фундаментной рамой, находится резервуаръ съ водою, такъ называемая цистерна; въ нее постоянно накачивается холодная вода посредствомъ водяного насоса g, приводимаго въ дѣйствіе балансиромъ при посредствѣ особой тяги. Второй приводимый такимъ же образомъ въ дѣй-

ствіе насосъ, **воздушный насосъ** *h*, находится въ соединеніи при посредствѣ клапана *k* съ холодильникомъ; назначеніе его — постоянно удалять изъ холодильника теплую конденсаціонную воду и одновременно воздухъ, находящійся во всякой водѣ и выдѣляющійся изъ нея при ея нагрѣваніи. Черезъ кранъ *g* холодная вода поступаетъ изъ цистерны въ холодильникъ и охлаждаетъ выходящій изъ цилиндра отработавшій уже паръ. Часть теплой конденсаціонной воды при вытеканіи черезъ небольшой резервуаръ *l* поступаетъ въ сосущую трубу *nn* **питающаго котелъ насоса** *m* съ всасывающимъ клапаномъ *o* и нагнетательнымъ клапаномъ *O'*; сплошной поршень послѣдняго насоса или насоса для теплой воды приводится въ дѣйствіе, какъ и всѣ другіе насосы, балансиромъ; за нагнетательнымъ клапаномъ *O'*, надъ которымъ находится небольшой воздушный горшокъ, вода вгоняется въ паровой котелъ по трубопроводу *p*.



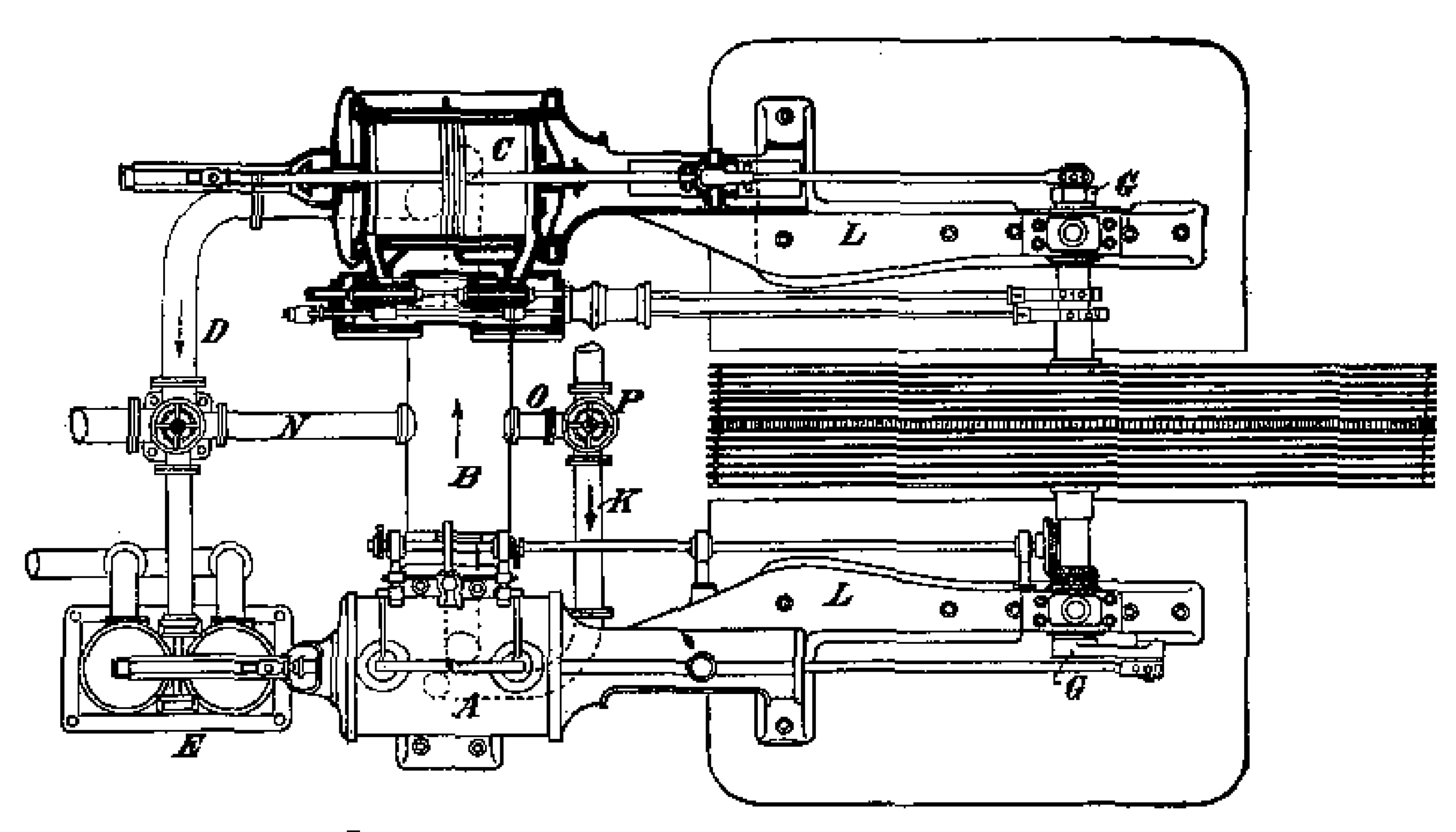
894. Старая вертикальная машина высокаго давленія безъ балансира.

Для регулированія хода служитъ описанный ранѣе **центробѣжный регуляторъ** въ соединеніи съ паровпускнымъ клапаномъ (поворотнымъ клапаномъ), помѣщеннымъ въ паропроводѣ; регуляторъ вращается вокругъ вертикальной оси *y*; послѣдняя приводится въ быстрое вращеніе отъ вала машины при посредствѣ шнурка *xx*, шкива и двухъ коническихъ зубчатыхъ колесъ; какъ ранѣе было упомянуто, грузы регулятора въ видѣ шаровъ поднимаются или опускаются въ зависимости отъ скорости вращенія регулятора, зависящей въ свою очередь непосредственно отъ скорости хода машины, и при этомъ грузы эти двигаютъ вверхъ или внизъ особую муфту; послѣднею приводится въ движеніе рычагъ *z*, соединенный при посредствѣ тяги рычага (на рис. ея не видно) съ поворотнымъ клапаномъ такимъ образомъ, что клапанъ этотъ при подъемѣ муфты, т. е. при увеличеніи скорости прикрывается, вслѣдствіе чего уменьшается впускъ пара, при опусканіи же муфты происходитъ обратное.

Рис. 893 представляетъ паровую машину Ватта болѣе новой конструкціи; принципъ ея дѣйствія и общее расположеніе частей въ общемъ остались тѣ же; только въ постройкѣ и въ конструкціи отдѣльныхъ частей сдѣланы нѣкоторыя улучшенія, болѣе раціональныя и элегантныя, въ особенности въ нижней части устроено совсѣмъ другое расположеніе насосовъ и улучшены и упрощены приспособленія для парораспредѣленія. Паръ, выходящій изъ цилиндра въ холодильникъ, долженъ проходить кольцевое пространство вокругъ цилиндра, благодаря чему стѣнки послѣдняго защищаются отъ вредной потери тепла во внѣшнюю среду. Нѣкоторыя подробности, невидимыя на предыдущихъ двухъ рисункахъ, здѣсь ясно видны, напр. соединеніе шатуна съ эксцентрикомъ и золотникомъ и рычажная передача къ паровпускному кла-

пану, а также параллелограмъ $RSTU$ Ватта, особое описаніе котораго будетъ приведено далѣе.

Объясненіе изображенной на рис. 893 машины послѣ всего предыдущаго можно привести въ нѣсколькихъ словахъ. A представляетъ паровой цилиндръ съ золотниковой коробкой E, къ которой паръ подводится по трубѣ B съ паровпускнымъ клапаномъ C; золотникъ приводится въ движеніе золотниковой тягой G при посредствѣ рычага, дѣйствующаго отъ шатуна H', насаженнаго на эксцентрикъ H. F — поршень съ поршневымъ стержнемъ R, проходящимъ плотно черезъ сальникъ x въ крышкѣ цилиндра. Балансиръ os приводитъ въ движеніе при посредствѣ шатуна P кривошипъ Q, вращающій главный валъ съ маховикомъ V; *далѣе балансиромъ приводится въ дѣйствіе питательный насосъ M и посредствомъ* тяги L воздушный насосъ I. Цилиндръ находится въ соединеніи съ холодильникомъ T; вода для охлажденія вспрыскивается изъ N черезъ сѣтку K. $STUW$ представляетъ параллелограмъ Ватта. Центробѣжный регуляторъ D помѣщенъ на оси d, приводимой въ движеніе коническими зубчатыми колесами посредствомъ ременной передачи отъ вала; регуляторъ дѣйствуетъ на паровпускной клапанъ E черезъ посредство системы рычаговъ $b\,a\,a$.

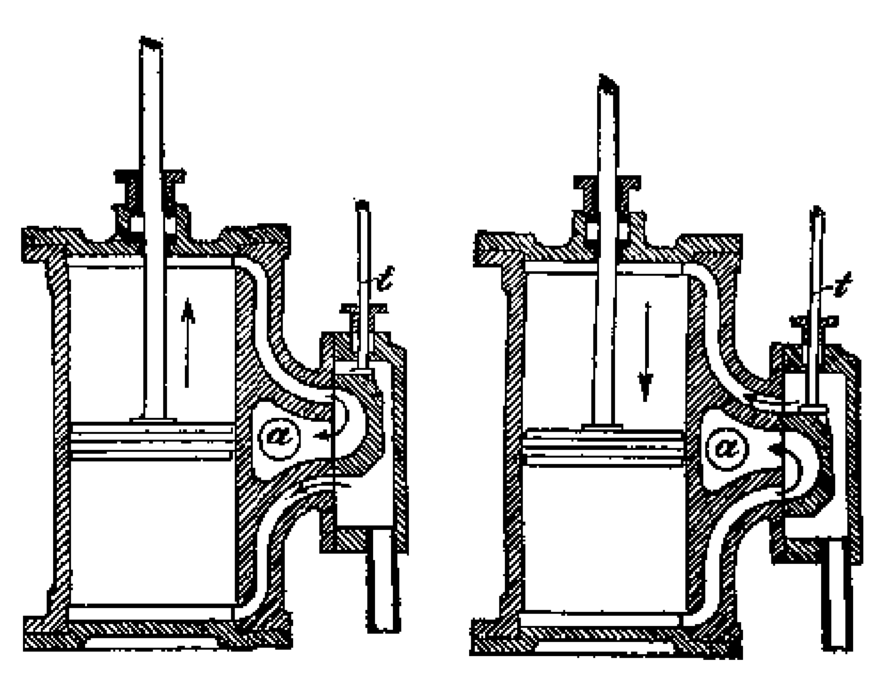


895. **Горизонтальная паровая машина компаундъ съ ресиверомъ.**

На рис. 894 представлена въ разрѣзѣ вертикальная одноцилиндровая машина высокаго давленія болѣе старой постройки безъ балансира. A представляетъ установленный на чугунномъ основаніи паровой цилиндръ; поршень B посредствомъ поршневого стержня C и шатуна P приводитъ въ движеніе кривошипъ Q. Валъ съ маховикомъ X покоится на чугунномъ основаніи F; d и e — каналы для пара, соединенные съ золотниковой коробкой k; изъ выпускного окна g золотника идетъ каналъ r для выпуска пара; парораспредѣленіе происходитъ описаннымъ ранѣе способомъ посредствомъ передачи отъ экцентрика f къ золотниковой тягѣ s; посредствомъ коническихъ зубчатыхъ колесъ приводится во вращеніе отъ вала ось a регулятора Y и отъ подвижной муфты h послѣдняго большимъ или меньшимъ подъемомъ грузовъ регулятора приводится въ дѣйствіе посредствомъ тяги въ паровпускной клапанъ e въ паропроводѣ z. Отъ удлиненной крестовины или крейцкопфа (соединеніе поршневого стержня съ шатуномъ) приводится въ дѣйствіе поршень питательнаго насоса o.

Въ заключеніе слѣдуетъ еще описать современную горизонтальную машину компаундъ двойного расширенія съ ресиверомъ, изображенную на

рис. 895; рисунокъ представляетъ отчасти горизонтальное сѣченіе машины, отчасти видъ машины сверху. Свѣжій паръ по паропроводу *k* со створнымъ клапаномъ *P* подводится въ цилиндръ *A* высокаго давленія; послѣ работы въ немъ, отчасти съ расширеніемъ, паръ переходитъ въ ресиверъ *B* и изъ него поступаетъ въ цилиндръ низкаго давленія *C*. Послѣ дальнѣйшаго въ немъ расширенія паръ ожижается въ холодильникѣ впрыскиваемой въ него водою; послѣдняя вмѣстѣ съ конденсаціонною водою и воздухомъ высасываются воздушнымъ насосомъ *E*. Цилиндръ высокаго давленія снабженъ клапаннымъ парораспредѣленіемъ, цилиндръ низкаго давленія золотниковымъ парораспредѣленіемъ Мейера; степень наполненія перваго регулируется автоматически регуляторомъ, сообразно нагрузкѣ машины, тогда какъ парораспредѣленіе цилиндра низкаго давленія устанавливается въ ручную. Оба цилиндра снабжены цилиндрическими направляющими; вмѣстѣ съ послѣдними отлиты такъ называемые штыковые брусья *L*, на которыхъ укрѣплены подшипники для вала маховика. Оба кривошипа *G* сдвинуты на 90° одинъ относительно другого, такъ что всегда, при нахожденіи одного изъ поршней въ среднемъ положеніи, другой поршень переходитъ мертвую точку. Маховикъ служитъ въ тоже время и шкивомъ для канатной передачи: работа передается посредствомъ 12 пеньковыхъ канатовъ. Машина устроена такимъ образомъ, что каждый цилиндръ можетъ работать отдѣльно. Для этой цѣли служатъ соединительныя трубы *O* и *N*; при обыкновенной, совмѣстной работѣ обоихъ цилиндровъ трубы эти отдѣляются и фланцы закрываются глухими фланцами. По трубѣ *O* свѣжій паръ можетъ поступать непосредственно въ ресиверъ и отсюда попадать въ большой цилиндръ, когда послѣдній долженъ работать на большое давленіе; съ другой стороны труба *N* ресивера можетъ быть соединена непосредственно съ холодильникомъ, если долженъ быть выключенъ цилиндръ низкаго давленія.

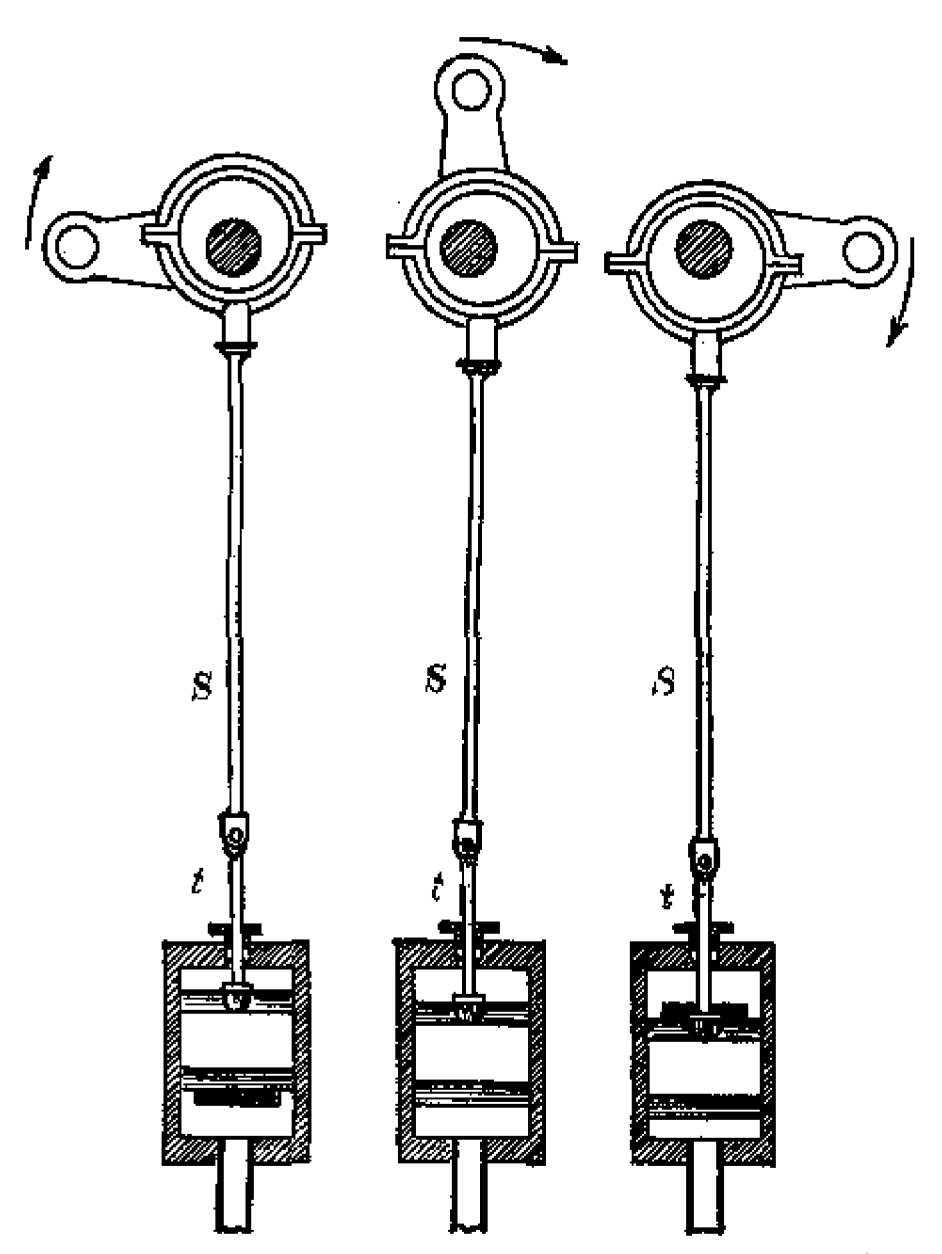


896 и 897. Положеніе золотника при ходѣ поршня вверхъ и при ходѣ поршня внизъ.

Отдѣльныя части паровыхъ машинъ.

Само собою разумѣется, что для каждой паровой машины имѣетъ громадное значеніе плотное прилеганіе **поршня** къ стѣнкамъ цилиндра; паръ не долженъ проходить между ними. Для этого требуется главнымъ образомъ, чтобы поршень по всей своей окружности былъ строго цилиндриченъ и хорошо отполированъ, точно также какъ и цилиндръ по всей своей длинѣ былъ бы строго одного и того же діаметра. Для небольшихъ и въ особенности быстроходныхъ машинъ достаточно, если поршень точно и плотно входитъ въ цилиндръ, т. е. если онъ движется въ немъ съ легкимъ треніемъ. По большей части однако при этомъ употребляютъ различныя смазочныя средства; при машинахъ низкаго давленія можно достигнуть плотнаго хода поршня обматываніемъ поршня жирно смазаннымъ пеньковымъ жгутомъ однако это примитивное средство нельзя рекомендовать и въ особенности оно не примѣнимо въ машинахъ высокаго давленія и слѣдовательно работающихъ при болѣе высокой температурѣ. Въ нихъ лучше примѣнять ме-

таллическую набивку. При этой набивкѣ избѣгаются всякія мягкія смазки, металлъ соприкасается непосредственно съ металломъ; существуютъ различныя конструкціи поршней этого вида; въ однихъ поршень состоитъ, напр., изъ извѣстнаго числа отдѣльныхъ частей, имѣющихъ всѣ вмѣстѣ видъ одного кольца; къ стѣнкамъ цилиндра онѣ придавливаются расположенными внутри ихъ пружинами. Часто употребляются также поршни, имѣющіе на окружности плоскія кольцевыя выемки (желоба), въ которыя помѣщены упругія металлическія кольца; кольца эти въ обыкновенномъ состояніи имѣютъ діаметръ, нѣсколько большій діаметра цилиндра, и плотно прилегаютъ къ стѣнкамъ цилиндра, когда они будутъ вложены въ желоба и такъ обжаты, что поршень вмѣстѣ съ ними войдетъ въ цилиндръ.



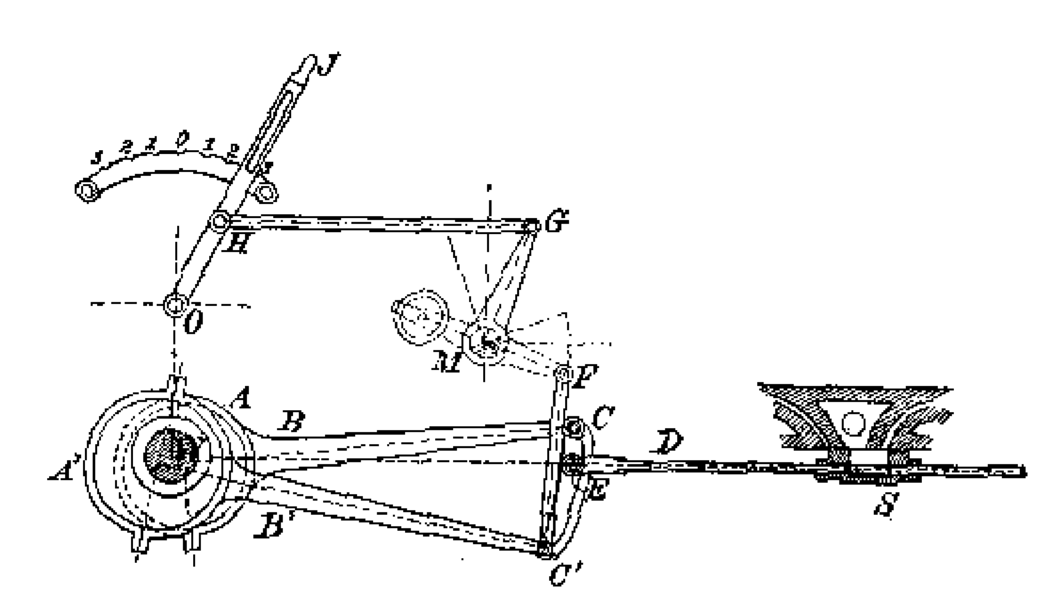
898—900. Положеніе золотника за время полъ-оборота.

Послѣ цилиндра и поршня существеннѣйшую часть паровой машины представляетъ приспособленіе для парораспредѣленія и именно въ области парораспредѣленія въ послѣднія три десятилѣтія и сдѣлана большая часть усовершенствованій. Въ настоящее время существуетъ большое число самыхъ разнообразныхъ приспособленій для парораспредѣленія въ паровыхъ машинахъ и мы зашли бы слишкомъ далеко, если бы начали говорить болѣе подробно только о наиболѣе важныхъ изъ нихъ. Болѣе новыя приспособленія для парораспредѣленія можно подраздѣлить на золотниковыя парораспредѣленія и клапанныя. Вообще всѣ приспособленія для парораспредѣленія имѣютъ цѣлью регулировать опредѣленнымъ образомъ впускъ и выпускъ пара и притомъ не только они должны, какъ въ самыхъ старыхъ паровыхъ машинахъ, попеременно, при ходѣ поршня назадъ и впередъ, открывать и закрывать впускъ и выпускъ пара, но также опредѣленнымъ образомъ регулировать и степень расширенія. Самымъ простымъ по устройству и по дѣйствію является обыкновенный старый золотниковый парораспредѣлитель, дѣйствіе котораго можетъ быть вкратцѣ объяснено по рис. 896—900.

Внутреннее пространство цилиндра соединено съ золотниковою коробкою при посредствѣ двухъ каналовъ (рис. 896 и 897); изъ нихъ одинъ находится у верхней части цилиндра, другой у нижней; къ золотниковой коробкѣ по трубѣ (на рис. снизу) подводится паръ. Передъ отверстіями каналовъ движется раковинообразный золотникъ и, смотря по своему положенію, впускаетъ паръ въ пространство или по одну, или по другую сторону поршня, тогда какъ другой каналъ отсоединяется золотниковой коробкой, причемъ каналъ этотъ приводится въ сообщеніе съ паровыпускнымъ окномъ *a*. На первомъ рисункѣ паръ поступаетъ,

какъ указано стрѣлкою, подъ поршень; послѣдній движется такимъ образомъ вверхъ и вытѣсняемый изъ пространства надъ поршнемъ паръ идетъ къ открытому выпускному окну, при машинахъ съ выпускомъ пара прямо въ воздухъ — въ воздухъ, при машинахъ съ охлажденіемъ — въ холодильникъ или при маломъ цилиндрѣ машинъ компаундъ въ большой цилиндръ или въ ресиверъ; на второмъ рисункѣ изображено прямо противоположное положеніе золотника.

Движеніе золотника въ ту или другую сторону производится при посредствѣ эксцентрика отъ кривошипа золотниковой тягой *s* (см. рис. 898—900), которая въ части *t* проходитъ плотно черезъ сальникъ въ золотниковую коробку. Эксцентрикъ представляетъ изъ себя круглый дискъ, укрѣпленный эксцентрично на валу; его охватываетъ кольцо, неизмѣнно соединенное съ золотникомъ тягой и въ которомъ можетъ вращаться эксцентрикъ. При вращеніи кривошипа вращается и дискъ эксцентрика, кольцо же не можетъ вращаться вмѣстѣ съ нимъ; благодаря этому, дискъ перемѣщаетъ кольцо вмѣстѣ съ золотниковою тягою при каждомъ оборотѣ кривошипа по одному разу впередъ и назадъ въ тактъ съ ходомъ поршня. Рис. 988, 989 и 900 изображаютъ три непосредственно слѣдующія одинъ за другимъ положенія эксцентрика, кольца и золотника за время одного полуоборота. Первое положеніе соотвѣтствуетъ рис. 896; нижній каналъ открытъ, поршень идетъ вверхъ. При среднемъ положеніи (рисунокъ 899) притокъ пара прекращенъ, поршень или находится въ концѣ своего хода или, при машинахъ съ расширеніемъ, паръ еще работаетъ въ цилиндрѣ однимъ расширеніемъ; къ концу хода поршня эксцентрикъ сдвигаетъ золотникъ внизъ (рис. 900), причемъ паръ получаетъ доступъ въ пространство надъ поршнемъ черезъ верхній каналъ. Очевидно, что такимъ способомъ можно получить правильное попеременное дѣйствіе пара на поршень съ обѣихъ его сторонъ.



901. Парораспредѣленіе кулиссой Стефенсона.

Для того, чтобы паръ въ машинахъ съ расширеніемъ не постоянно во время движенія поршня входилъ въ цилиндръ, но отсѣкался послѣ извѣстной части движенія поршня, настолько увеличиваютъ закраины золотника, чтобы впускной каналъ былъ уже закрытъ, когда поршень и золотникъ пройдутъ только извѣстную часть своего пути; впущенный въ цилиндръ до этого момента паръ долженъ при дальнѣйшемъ ходѣ поршня работать только расширеніемъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ необходимо измѣнять направленіе движенія машинъ; необходимо имѣть возможность измѣнять ходъ машины напр. въ локомотивахъ, паровыхъ лебедкахъ, подъемныхъ машинахъ, прокатныхъ машинахъ. Для этой цѣли служитъ особое приспособленіе для перемѣны хода помощью измѣненія парораспредѣленія. Уже старую, но еще и до сихъ поръ весьма часто примѣняемую, простую и остроумную конструкцію представляетъ кулисса Стефенсона, устройство которой представлено на рис. 901. Вмѣсто одного эксцентрика на валъ *W* насаживаютъ два, эксцентрикъ *A* для передняго (прямого) хода и эксцентрикъ *A'* для задняго (обратнаго) хода. Тяги эксцентриковъ *B* и *B'* на концахъ соединены посредствомъ шарнировъ съ „кулиссой“ *cc'*; въ кулиссѣ можетъ двигаться ползунъ, такъ называемый „кулиссный камень“ *E*, соединенный съ золотниковой тягой *D* шарниромъ, причемъ кулисса посредствомъ рычага *OJ* можетъ быть поднимаема или опускаема подвижнымъ рычажнымъ соединеніемъ

$C'FMGH$, вращающимся вокругъ неподвижной точки M; кулиссный камень не можетъ слѣдовать этому движенію, такъ какъ онъ можетъ двигаться только прямолинейно впередъ и назадъ, направляясь тягою D. Смотря по тому, стоитъ ли кулисса внизу или вверху, золотниковая тяга приводится въ движеніе однимъ или другимъ эксцентрикомъ, при чемъ и машина идетъ въ томъ направленіи, которое соотвѣтствуетъ данному эксцентрику. При поднятіи кулиссы изъ изображеннаго на рисункѣ положенія, приблизительно низшаго, въ высшее, золотниковая тяга передвигается назадъ на величину движенія эксцентрика, т. е. $A'B'C'$ перемѣщается въ ABC. Золотникъ S занимаетъ противуположное ноложеніе и поршень движется въ обратномъ направленіи. Зубчатый сегментъ служитъ для того, чтобы имѣть возможность поставить въ любое положеніе рычагъ, служащій для измѣненія парораспредѣленія.

Для того чтобы дать движенію золотника извѣстное опереженіе и смѣщеніе относительно хода поршня, при каждомъ ходѣ поршня, соотвѣтственно потребности, и быстрѣе производить открываніе и закрываніе паровыхъ каналовъ, диску эксцентрика придаютъ иную форму, не круглую; берутъ такъ называемые некруглые диски и приданіемъ имъ опредѣленной формы, а также и обхватывающимъ ихъ кольцамъ, можно получать самыя разнообразныя движенія золотника. При помощи обыкновеннаго золотника нельзя примѣнять расширенія въ любой степени, такъ какъ при сильномъ опереженіи золотника, получающемся соотвѣтственной установкой диска эксцентрика такимъ образомъ, чтобы движеніе золотниковой тяги на извѣстную величину предшествовало движенію поршня и первая раньше мѣняла направленіе движенія, чѣмъ послѣдній, — впускъ пара закрывается слишкомъ рано; съ другой стороны и выпускъ пара на другой сторонѣ цилиндра также не остается открытымъ до конца движенія поршня, вслѣдствіе чего является вредное давленіе на другую сторону поршня. Для тихоходныхъ машинъ, которыя должны работать съ большою степенью расширенія, примѣняется вслѣдствіе этого двойной золотникъ, т. е. два работающіе другъ за другомъ золотника, изъ которыхъ второй, собственно золотникъ, производящій отсѣчку, идетъ по задней сторонѣ такъ называемаго парораспредѣлительнаго золотника, регулируетъ притокъ пара къ главному золотнику и періодически совсѣмъ его прекращаетъ; оба золотника приводятся въ движеніе при помощи тягъ отъ отдѣльныхъ эксцентриковъ. Это устройство по своей конструкціи и по своему дѣйствію значительно сложнѣе описаннаго простого парораспредѣленія, но благодаря своимъ преимуществамъ оно получило уже давно всеобщее распространеніе. По имени своего изобрѣтателя, примѣнившаго его впервые въ 1842 г., оно носитъ названіе Мейеровскаго парораспредѣленія.

Другія приспособленія имѣютъ цѣлью дать возможность мѣнять въ ручную на ходу машины степень наполненія; если напр., уменьшается нагрузка, то экономичнѣе увеличить расширеніе, т. е. впускать меньше пара полной упругости, чѣмъ съуживать каналъ для притока пара. Въ послѣднее время устраивается парораспредѣленіе, измѣняющееся регуляторомъ, причемъ послѣдній автоматически регулируетъ степень расширенія.

Вмѣсто описаннаго золотника со скользящими плоскостями иногда примѣняется поршневой золотникъ, производящій парораспредѣленіе подобнымъ же образомъ, какъ и плоскій золотникъ. Золотниковую коробку замѣняетъ полый цилиндръ и золотникъ состоитъ изъ двухъ входящихъ въ него полыхъ поршней съ отверстіями, движущихся передъ выходами обоихъ паровыхъ каналовъ и открывающихъ и закрывающихъ притокъ пара смотря по положенію отверстій поршней по отношенію къ каналамъ парового цилиндра.

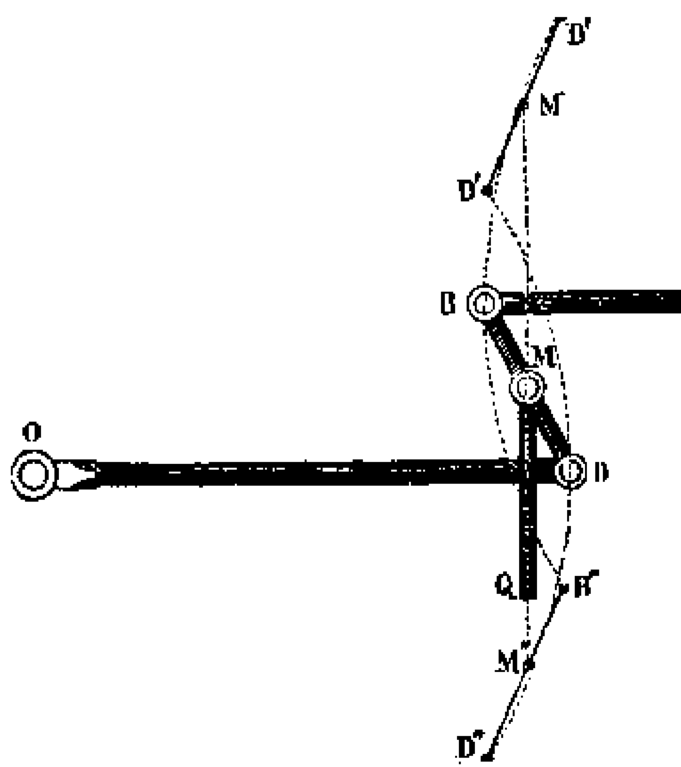
Почти съ начала семидесятыхъ годовъ начались значительныя усовершенствованія въ конструкціи парораспредѣленій паровыхъ машинъ; было доказано, что старый золотникъ Ватта съ простымъ движеніемъ впередъ и на-

задъ, точно также, какъ и позднѣйшія усовершенствованныя парораспредѣленія, не пригодны для быстраго и рѣзкаго прекращенія притока пара для того, чтобы возможно было ограничить періодъ впуска вполнѣ опредѣленною частью движенія поршня съ полнымъ впускомъ пара и начиная съ вполнѣ опредѣленной точки его пути дать возможность дѣйствовать одному только расширенію немедленно во закрытіи притока пара. Съ дѣйствіемъ золотника, приводимаго въ движеніе эксцентрикомъ или другимъ подобнымъ образомъ связано то, что онъ закрываетъ и открываетъ впускъ пара не мгновенно, а въ теченіи большаго или меньшаго промежутка времени, такъ какъ онъ долженъ пройти всю ширину канала. Вслѣдствіе этого пришли къ точному парораспредѣленію, изобрѣтенному впервые американцемъ Корлисомъ и вслѣдствіе этого называемаго вообще парораспредѣленіемъ Корлиса; первое клапанное парораспредѣленіе Корлиса нашло многочисленныя подражанія, между которыми нѣкоторыя являлись совсѣмъ новыми; но большинство конструкцій было весьма сложно и вслѣдствіе этого онѣ неправильно дѣйствовали; въ одной Германіи на подобныя парораспредѣленія было выдано свыше 500 привиллегій. Въ послѣдніе года опять замѣчается возвращеніе къ болѣе простымъ системамъ парораспредѣленія. При точномъ парораспредѣленіи для закрыванія притока пара могутъ служить клапанъ, кранъ или золотникъ; по большей части примѣняются клапаны; всѣ эти системы парораспредѣленія имѣютъ общій принципъ тотъ. что въ тотъ моментъ, когда закрывается впускъ пара, запорное приспособленіе должно быстро и точно запирать впускное отверстіе посредствомъ мгновенно дѣйствующей силы, по большей части силы пружины, всякій разъ предъ этимъ натягиваемой самою машиною посредствомъ особаго рычажнаго приспособленія. На континентѣ, какъ уже ранѣе упомянуто, точному парораспредѣленію проложили путь главнымъ образомъ братья Зульцеръ изъ Винтертура (Швейцарія).

Дальнѣйшею важною частью паровыхъ машинъ является регуляторъ, дѣйствіе котораго основано на центробѣжной силѣ. При увеличеніи числа оборотовъ машины вслѣдствіе увеличенія центробѣжной силы оба шара регулятора поднимаются, вслѣдствіе чего посредствомъ рычажной передачи прикрывается паровпускной клапанъ и уменьшается такимъ образомъ притокъ пара, и наоборотъ. При нѣкоторой извѣстной нормальной скорости вращенія машины, на которую конструированъ или установленъ регуляторъ, имѣетъ мѣсто состояніе равновѣсія, благодаря тому, что шары регулятора вращаются на нѣкоторой опредѣленной высотѣ, при которой отверстіе для впуска пара открывается на столько, что впускается пара столько, сколько требуется его для полученія опредѣленной скорости при данной нагрузкѣ. Абсолютно равномѣрнаго хода нельзя достигнуть даже при помощи лучшихъ регуляторовъ; не считая неравномѣрности хода за время одного движенія поршня — такъ какъ поршень, выходя изъ состоянія покоя т. е. отъ скорости, равной 0, въ теченіи одного хода получаетъ максимальную скорость, уменьшающуюся къ концу хода опять до нуля — эти колебанія выравниваются живою силою маховика, — увеличеніе или уменьшенія скорости вращенія должны достигнуть извѣстной величины, прежде чѣмъ регуляторъ будетъ въ состояніи начать дѣйствовать, такъ какъ увеличеніе или уменьшеніе центробѣжной силы должны имѣть нѣкоторую опредѣленную величину для того, чтобы они могли преодолѣть сопротивленіе, являющееся при измѣненіи положенія паровпускного клапана. Равномѣрность хода машины зависитъ такимъ образомъ — исключая другія обстоятельства, — отъ чувствительности регулятора и отъ того усилія, которое надо затрачивать на установку паровпускного клапана; первую выражаютъ въ процентахъ; „регуляторъ имѣетъ чувствительность въ 3%“ это значитъ, что при измѣненіи числа оборотовъ машины на 3% регуляторъ начинаетъ дѣйствовать или регуляторъ поддерживаетъ скорость

машины постоянною въ предѣлахъ 3 %. Излишне чувствительные регуляторы не примѣняются, такъ какъ они не приходятъ въ устойчивое равновѣсіе, но непрерывно двигаютъ паровпускной клапанъ или при соотвѣтственныхъ обстоятельствахъ (при такъ называемыхъ астатическихъ регуляторахъ) колеблются постоянно между наивысшимъ и низшимъ положеніями и постоянно совсѣмъ закрываютъ или совсѣмъ открываютъ паровпускной клапанъ.

Изъ другихъ наиболѣе важныхъ отдѣльныхъ частей паровыхъ машинъ слѣдуетъ упомянуть о примѣняемомъ какъ въ машинахъ Ватта, такъ и въ болѣе позднихъ балансирныхъ машинахъ выпрямителъ или параллелограммъ Ватта. Онъ предназначенъ для устраненія бокового движенія, которое можетъ совершать при движеніи вверхъ и внизъ конецъ балансира при дѣйствіи на послѣдній поршневого стержня; благодаря ему, какъ поршневой стержень, такъ и сосѣдній стержень воздушнаго насоса двигаются строго прямолинейно и вертикально. Конструкція и способъ его дѣйствія видны по рис. 902. *BC* и *OD* два рычага, движущіеся около осей *C* и *O* вверхъ и внизъ. *BC* представляетъ здѣсь одну половину балансира, тогда какъ *OD* **вспомогательная часть**, прикрѣпленная къ подставкѣ машины гдѣ либо въ точкѣ *O*. *B* и *D* соединены стержнемъ, вращающимся на осяхъ; въ серединѣ ея *M* опять на оси прикрѣпленъ поршневой стержень. Рисунокъ представляетъ среднее положеніе. Если плечо балансира поднимается до тѣхъ поръ, пока *B* не займетъ наивысшаго положенія *B′*, то *D*, поднимаясь одновременно вверхъ по соотвѣтствующей дугѣ, займетъ положеніе *D′*. Соединительный стержень приметъ положеніе *B′D′*; при ходѣ внизъ *B* въ нижнемъ положеніи переходитъ въ *B″* и *D* въ *D″*; соединительный стержень принимаетъ положеніе *B″D″*. Средняя точка *M* движется при этомъ постоянно по прямой вертикальной линіи, причемъ и поршневой стержень движется прямо, безъ боковаго отклоненія. Изображенный на предыдущемъ рис. 893 параллелограмъ нѣсколько отличается отъ настоящаго, но онъ основанъ, какъ легко видѣть, на томъ же принципѣ.



902. Направляющая часть параллелограмма Ватта.

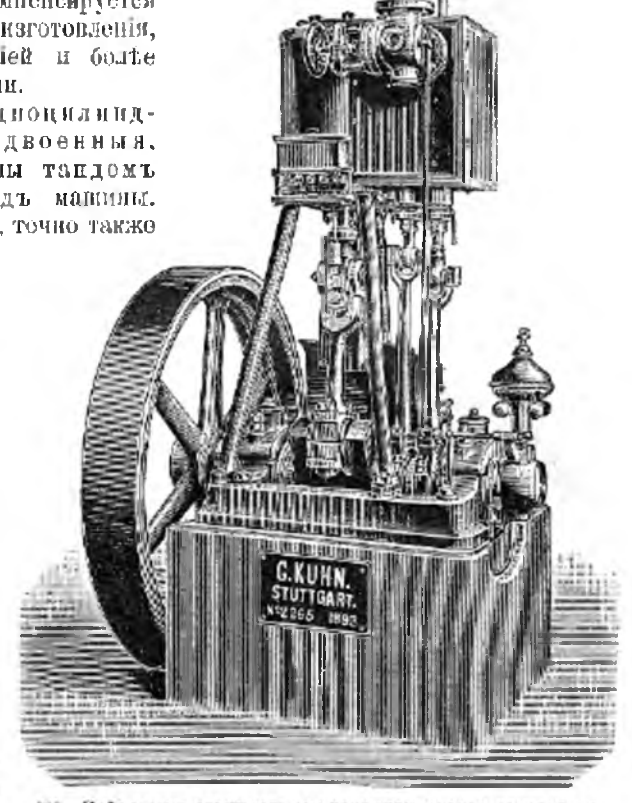
Подраздѣленіе паровыхъ машинъ.

Уже изъ предыдущаго изложенія можно вывести различныя главныя системы паровыхъ машинъ. Исключая первую атмосферическую машину, въ которой работаютъ съ давленіемъ, меньшимъ атмосфернаго, гдѣ паръ дѣйствуетъ сгущеніемъ и работу совершаетъ атмосферное давленіе, паровыя машины можно подраздѣлить на машины простого и двойного дѣйствія, смотря по тому, дѣйствуетъ ли паръ только на одну сторону поршня или попеременно на обѣ. Первыя уже съ давнихъ поръ являются только въ видѣ исключеній; почти всѣ болѣе новыя паровыя машины — машины двойного дѣйствія, далѣе машины съ расширеніемъ или безъ расширенія, смотря по тому, въ теченіи всего ли времени движенія поршня впускается паръ или только въ теченіи извѣстной части его, а въ остальное время движенія поршня паръ дѣйствуетъ только расширеніемъ. Первыя употребляются

сравнительно рѣдко, только на малыя мощности, изъ за болѣе простого парораспредѣленія. Затѣмъ на машины **безъ охлажденія** и машины **съ охлажденіемъ** или машины съ выпускомъ пара прямо въ воздухъ и машины съ холодильникомъ; въ первыхъ паръ по совершеніи работы выпускается на воздухъ (или примѣняется для нагрѣванія помѣщеній, для подогрѣванія воды и т. п.), въ послѣднихъ паръ ожижается охлажденіемъ въ особомъ холодильникѣ.

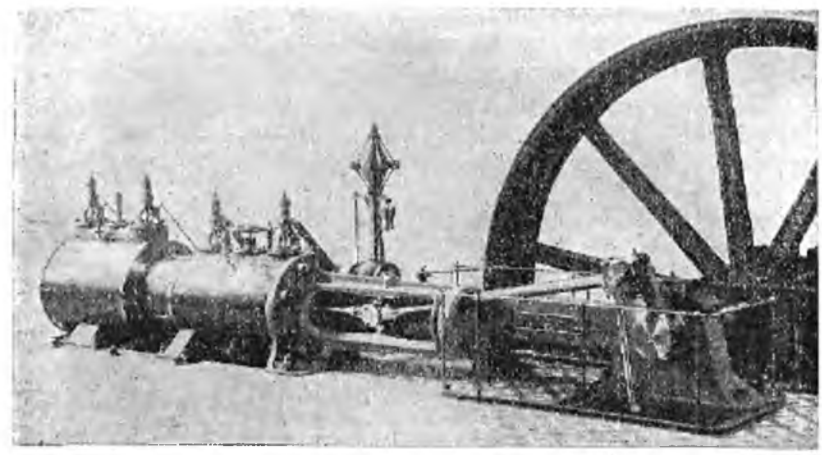
Большія машины по большей части, машины же многократнаго расширенія всегда строятся съ холодильниками вслѣдствіе лучшей утилизаціи пара. Въ небольшихъ же машинахъ, наоборотъ, это преимущество компенсируется большей стоимостью ихъ изготовленія, болѣе сложною конструкціей и болѣе труднымъ уходомъ за ними.

Далѣе различають **одноцилиндровыя** машины, машины **сдвоенныя**, машины **Вульфа**, машины **тандемъ** и **сложныя** и **компаундъ** машины. Одноцилиндровыя машины, точно также какъ и сдвоенныя машины, могутъ быть или съ выпускомъ пара въ воздухъ или съ охлажденіемъ; сдвоенныя машины имѣють два независимыхъ цилиндра, работающіе оба паромъ, получаемымъ непосредственно отъ парового котла; поршни ихъ дѣйствують на общій валъ съ насаженнымъ на него маховикомъ. Кривошипы сдвинуты на 90° одинъ относительно другого, благодаря чему, когда одинъ поршень находится на серединѣ своего пути и работаетъ полною силою, другой находится въ „мертвой точкѣ“, въ концѣ своего пути. Благодаря этому, машины эти въ сравненіи съ одноцилиндровыми машинами имѣють болѣе равномѣрный ходъ и могутъ быть пускаемы въ ходъ при любомъ положеніи поршней, тогда какъ одноцилиндровыя машины, если поршни ихъ находятся въ такомъ положеніи, что оба впускныя отверстія для пара закрыты, передъ пускомъ должны быть сперва повернуты. Сдвоенныя машины можно также конструировать такимъ образомъ, что каждый цилиндръ будетъ работать независимо. При небольшой нагрузкѣ или при исправленіи одной половины машины можно одинъ цилиндръ отдѣлить отцѣпленіемъ одного поршневого стержня.



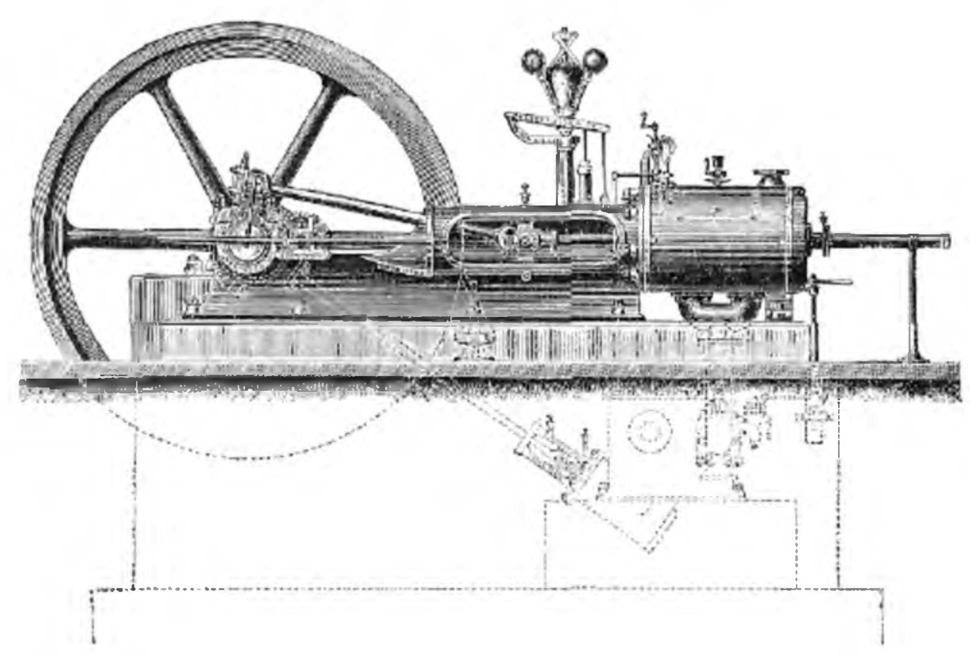
903. Небольшая вертикальная одноцилиндровая паровая машина высокаго давленія съ золотниковымъ парораспредѣленіемъ системы Г. Куна.

Машины двойного расширенія системы Вульфа имѣютъ цилиндры, расположенные вертикально одинъ надъ другимъ — первоначальная система Вульфа, — или лежащіе горизонтально одинъ на продолженіи другаго; въ послѣднемъ случаѣ эти машины называются машинами тандемъ.



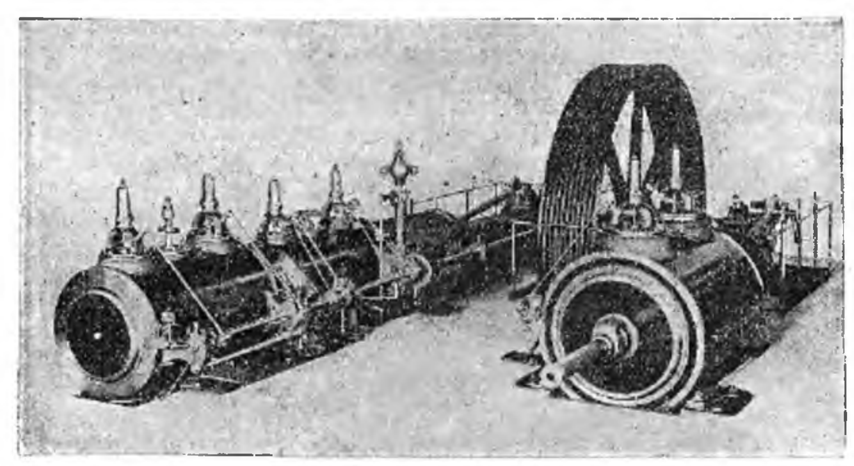
904. **Машина тандемъ (или Вульфа) съ клапаннымъ парораспредѣленіемъ и съ цилиндрами, лежащими одинъ за другимъ.** (Братья Зульцеръ въ Винтертурѣ).

Относительно машинъ многократнаго расширенія или машинъ компаундъ было уже указано, что онѣ примѣняются, благодаря лучшей утилизаціи пара, при большой мощности и въ особенности при высокихъ давленіяхъ; онѣ строятся на двойное, тройное и многократное расширенія.



905. **Горизонтальная одноцилиндровая паровая машина на среднюю или большую мощность (70—500 лошад. силъ) съ точнымъ золотниковымъ парораспредѣленіемъ и съ охлажденіемъ.**
Холодильникъ и воздушный насосъ расположены въ подвалѣ (обозначены пунктиромъ), насосъ приводится въ дѣйствіе эксцентрикомъ отъ кривошипа (Г. Кунъ въ Штуттгартъ-Бергѣ).

По способу установки, по роду постройки и передачѣ работы еще различаютъ вертикальныя и горизонтальныя паровыя машины, машины съ вращеніемъ (колѣнчатый валъ), балансирныя машины и наконецъ паровыя машины съ качающимися цилиндрами.



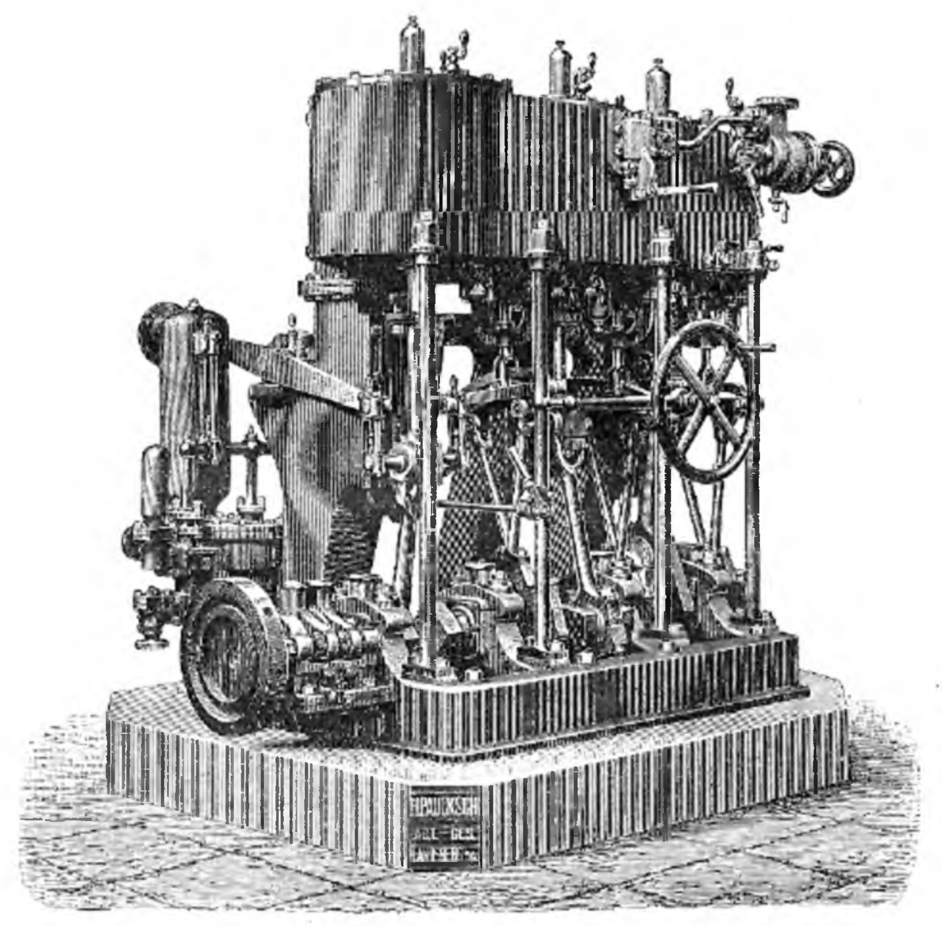
906. Горизонтальная паровая машина тройного расширенія съ клапаннымъ парораспредѣленіемъ.
Цилиндры высокаго и средняго давленія лежатъ одинъ за другимъ. (Братья Зульцеръ въ Винтертурѣ).

907. Вертикальная паровая машина тройного расширенія на среднюю и большую мощность (45—100 лошадин. силъ) съ золотниковымъ парораспредѣленіемъ и съ холодильникомъ съ впрыскиваніемъ воды.
Станина цилиндра низкаго давленія (малаго) представляетъ холодильникъ; къ ней же присоединенъ воздушный насосъ, поршень котораго приводится въ дѣйствіе небольшимъ балансиромъ отъ поршневого стержня цилиндра низкаго давленія. (Акц. Общество Г. Паукшъ въ Ландсбергѣ на В.).

Для особыхъ цѣлей устраиваютъ совершенно особые типы паровыхъ машинъ, напр. судовыя машины, локомотивы, локомобили, быстроходныя машины для движенія динамомашинъ, машины съ перемѣнною остановкою

при ходѣ (парораспредѣленіе катарактомъ) спеціально для откачиванія воды въ горномъ дѣлѣ, для паровыхъ молотовъ и паровыхъ копровъ.

На рис. 903—908 изображены нѣкоторыя паровыя машины наиболѣе важныхъ системъ.



908. **Судовая паровая машина тройного расширенія для вращенія гребнаго винта съ поршневымъ парораспредѣленіемъ и съ охлажденіемъ впрыскиваніемъ воды.**

Станина цилиндра низкаго давленія (лѣваго) представляетъ холодильникъ; расположенный сзади нея воздушный насосъ приводится въ дѣйствіе балансиромъ отъ поршневаго стержня цилиндра низкаго давленія. При большихъ машинахъ вмѣсто охлажденія впрыскиваніемъ примѣняется по большей части поверхностный холодильникъ. Мощность машины достигаетъ 1500 лошад. силъ.

Примѣненіе перегрѣтаго водяного пара и паровая машина съ перегрѣтымъ паромъ системы Шмидта.

При изложеніи способа дѣйствія паровыхъ машинъ мы кратко упомянули, что въ послѣднее время въ перегрѣваніи водяного пара нашли способъ увеличить коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровыхъ машинъ; теперь мы займемся этимъ вопросомъ нѣсколько подробнѣе.

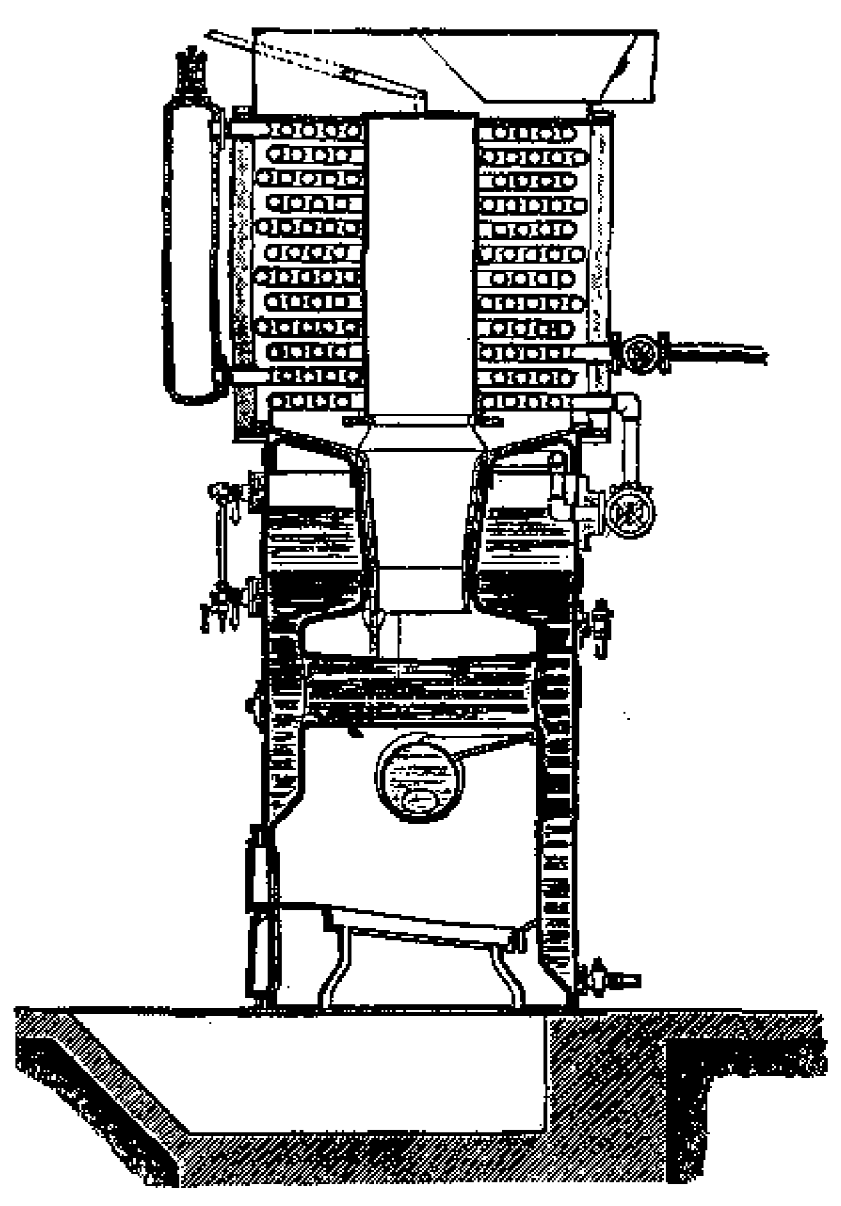
Водяной паръ, развивающійся въ обыкновенныхъ паровыхъ котлахъ и идущій на работу паровыхъ машинъ, собственно не бываетъ сухимъ, не бываетъ въ дѣйствительности настоящимъ газообразнымъ паромъ: это насыщенный мокрый паръ, такъ какъ уже въ котлѣ онъ бываетъ вполнѣ насыщеннымъ. Какъ только обыкновенный паръ начинаетъ охлаждаться, чего нельзя избѣгнуть даже въ паропроводахъ, въ особенности въ виду того, что такой

паръ вслѣдствіе его большой влажности является хорошимъ проводникомъ тепла, часть его сгущается. Теоретически доказанный фактъ, что влажность пара въ высшей степени неблагопріятно вліяетъ на работу паровой машины, имѣетъ полное подтвержденіе и на практикѣ. Если машины одинаковой конструкціи и величины и одинаково хорошаго изготовленія потребляютъ въ различныхъ мѣстахъ весьма различныя количества пара, что случается довольно часто, то причина этого лежитъ по большей части въ особенностяхъ пара на данной установкѣ. Уже съ давнихъ поръ неоднократно старались подводить къ паровымъ машинамъ дѣйствительно сухой паръ, примѣняя разныя средства для сушки пара и пользуясь водоотдѣлителями; послѣдніе однако только отчасти могли выполнять свое назначеніе. Если наоборотъ паръ будетъ нагрѣтъ выше температуры, соотвѣтствующей упругости при его точкѣ насыщенія, тогда онъ будетъ имѣть нѣсколько другія свойства; перегрѣтый сухой, т. е. вполнѣ газообразный паръ, какъ и всѣ газы, является худымъ проводникомъ тепла, и не такъ скоро отдаетъ свое тепло стѣнкамъ трубопроводовъ и цилиндра и можетъ подвергаться большему или меньшему охлажденію безъ ожиженія, смотря по степени его перегрѣванія. Уже въ этомъ лежитъ нѣкоторое преимущество его для примѣненія его въ паровыхъ машинахъ. Однако польза примѣненія перегрѣтаго водяного пара еще больше по другимъ соображеніямъ. При перегрѣваніи пару, безъ измѣненія его упругости, сообщается извѣстное количество тепла сверхъ того, которое можетъ быть сообщено насыщенному пару и которое получается обратно въ паровой машинѣ въ видѣ работы, и притомъ болѣе экономично, такъ какъ въ данномъ случаѣ большая часть тепла не пропадаетъ въ видѣ скрытой теплоты, что имѣетъ мѣсто при первоначальномъ образованіи пара. Если по расширеніи пара въ цилиндрѣ онъ еще остается нѣсколько перегрѣтымъ, то этимъ исключается его ожиженіе и вызываемая этимъ потеря пара.

Въ послѣдніе годы опять начали много заниматься способами полученія перегрѣтаго пара и конструированіемъ для этой цѣли приборовъ, послѣ того какъ многочисленными опытами было установлено, что этимъ путемъ достигается значительная экономія въ парѣ и въ топливѣ. Мысль высушивать и перегрѣвать получающійся въ котлѣ насыщенный, чаще всего прямо мокрый, паръ въ особомъ приборѣ, помѣщаемомъ въ дымоходахъ котла или въ боровѣ, нагрѣтыми отходящими газами передъ его впускомъ въ паровую машину, не нова; первые опыты въ этомъ направленіи были произведены въ началѣ пятидесятыхъ годовъ въ Америкѣ и вскорѣ послѣ того были сдѣланы подобные же опыты во Франціи и въ Англіи. На судахъ подобные приборы для перегрѣванія пара нашли широкое примѣненіе уже въ шестидесятыхъ годахъ. Начиная съ 1855 года, были предприняты и обнародованы остроумныя и тщательныя многолѣтнія научныя изысканія и практическіе опыты относительно преимуществъ перегрѣванія пара знаменитымъ ученымъ, философомъ и инженеромъ Гирномъ изъ Логельбаха близъ Кольмара (Эльзасъ), который одновременно съ Робертомъ Майеромъ и независимо отъ него открылъ законъ сохраненія энергіи, но сейчасъ же послѣ опубликованія работъ Майера добровольно отказался отъ чести открытія. Гирнъ уже и ранѣе обратилъ на себя большое вниманіе выдающимися научными изслѣдованіями и весьма цѣнными техническими работами. Онъ достигалъ при перегрѣваніи пара температуры его въ 250° при 4 атмосферахъ давленія въ котлѣ, т. е. доходилъ до перегрѣванія почти въ 100°. Его работы однако не имѣли большого практическаго значенія, не смотря на неоспоримо признанную пользу и достигнутые уже имъ результаты, и позднѣе онѣ были почти забыты вслѣдствіе несовершенства тогдашнихъ приборовъ для перегрѣванія пара, а съ особенности вслѣдствіе того, что тогда не были извѣстны смазочныя вещества, выдерживающія очень высокую температуру; кромѣ того въ

то время все вниманіе было обращено на другія важныя усовершенствованія въ машиностроеніи, въ особенности на увеличеніе давленія пара и на введеніе многократнаго расширенія.

Съ тѣхъ поръ однако достигли хорошихъ результатовъ въ постройкѣ болѣе совершенныхъ приборовъ для перегрѣванія пара, обладающихъ большою прочностью, и были примѣнены для смазки при весьма высокихъ давленіяхъ минеральныя масла. Въ настоящее время остается главнымъ образомъ разрѣшить практически конструктивныя данныя приборовъ. До начала девятидесятыхъ годовъ стремились достигнуть перегрѣванія особыми пароперегрѣвателями, включаемыми между котломъ и паровыми машинами; благодаря этому сохранялись старые паровые котлы и паровыя машины; изъ такихъ пароперегрѣвателей можно указать главнымъ образомъ на приборы Шверера въ Кольмарѣ и Гере въ Дюссельдорфѣ. Нѣсколько лѣтъ тому назадъ наоборотъ былъ конструированъ гражданскимъ инженеромъ Вильгельмомъ Шмидтомъ въ Ашерслебенѣ совершенно новый паровой котелъ для полученія сильно перегрѣтаго водяного пара, а также и паровая машина для пользованія этимъ паромъ, которая по мнѣнію выдающихся спеціалистовъ имѣетъ большое значеніе для дальнѣйшаго развитія паровыхъ машинъ. Центръ тяжести изобрѣтенія лежитъ въ конструкціи котла, благодаря которой получается паръ температуры до 350° Ц. безъ особыхъ сложныхъ приспособленій. Рис. 909 изображаетъ котелъ съ перегрѣвателемъ пара небольшого размѣра и простой конструкціи, какимъ онъ почти исключительно выдѣлывался въ первые годы, почти до 1896 года; въ настоящее время котлы по системѣ Шмидта строятся и горизонтальными.



909. Паровой котелъ Шмидта для полученія перегрѣтаго пара (разрѣзъ).

Въ нижней своей части это котелъ съ поперечными кипятильниками и съ внутренней топкой; надъ нимъ расположенъ пароперегрѣватель. Послѣдній состоитъ изъ двухъ свитыхъ въ спираль системъ трубъ. Два нижніе витка спирали служатъ для предварительнаго подогрѣванія, лежащіе же надъ ними представляютъ главный пароперегрѣватель. Первые соединены съ одной стороны съ паровымъ пространствомъ котла при помощи трубы — она видна на право у нижняго конца спирали, — и съ другой стороны — налѣво у второго витка спирали — присоединена къ закрытому сосуду, испарителю, главный перегрѣватель опять верхнимъ концомъ спирали присоединенъ къ испарителю, отъ нижняго же конца спирали идетъ паропроводъ къ паровой машинѣ. Обѣ спирали окружены хорошо изолирующей оболочкой. Горячіе газы послѣ обтеканія поперечныхъ кипятильниковъ нижняго котла проходитъ между спиральными трубами вверхъ, обладая еще весьма высокой температурою (около 600° Ц.). Паръ, весьма мокрый вслѣдствіе умышленно большой дѣйствующей поверхности нагрѣва котла

и вслѣдствіе малаго парового пространства послѣдняго, поступаетъ сперва въ подогрѣватель; въ немъ увлеченная паромъ вода испаряется и мокрый паръ высушивается благодаря тому, что обѣ спирали подвержены высокой температурѣ горячихъ газовъ. *На это расходуется большое количество тепла, отнимаемое* отъ стѣнокъ трубъ, которыя вслѣдствіе этого постоянно охлаждаются. При повышеніи температуры нагрѣтыхъ газовъ при усиленіи топки, увлекается также паромъ бо́льшее количество воды въ подогрѣватель, а слѣдовательно тамъ расходуется и болѣе тепла для ея испаренія; поэтому нѣтъ причинъ опасаться сильнаго нагрѣванія и скорой порчи спиральныхъ трубъ.

Въ испарителѣ, гдѣ благодаря значительно бо́льшему поперечному сѣченію происходитъ замедленіе въ потокѣ пара, происходитъ полное испареніе воды, увлеченной паромъ и остающейся еще и по прохожденіи черезъ подогрѣватель въ видѣ весьма небольшихъ пузырьковъ. Входящій паръ состоитъ изъ смѣси уже перегрѣтаго пара и еще сырого; при быстромъ потокѣ его по спирали не могло получиться вполнѣ равномѣрно сухого пара. Излишекъ тепла перваго въ испарителѣ идетъ на полное испареніе увлеченной воды и высушиваніе остатка сырого пара. При этомъ въ испарителѣ происходитъ паденіе температуры на 30—80° Ц. Въ главномъ пароперегрѣвателѣ этотъ уже сухой паръ сильно нагрѣвается. Нагрѣтые газы идутъ отчасти по направленію тока пара въ перегрѣвателѣ, отчасти въ направленіи, противуположномъ потоку пара; обѣ нижнія спирали *обтекаются наиболѣе нагрѣтыми газами. Такъ какъ однако находящійся въ нихъ* очень сырой паръ требуетъ для высушиванія весьма большого количества тепла, то трубы изнутри сильно охлаждаются. Горячіе газы отдаютъ здѣсь свое тепло и температура ихъ понижается на 600—400° Ц. Поступающій въ главный пароперегрѣватель паръ при температурѣ около 200° Ц. идетъ внизъ, встрѣчая все высшую и высшую температуру и все болѣе и болѣе нагрѣвается, въ послѣдней спирали до 350° Ц., тогда какъ остывающіе горячіе газы въ свою очередь, поднимаясь наверхъ, теряютъ столько тепла, что они выдѣляются при температурѣ 200—250° Ц., необходимой лишь для существованія тяги въ дымовой трубѣ. Утилизація тепла здѣсь очень совершенна и кромѣ того въ этомъ устройствѣ нѣтъ ничего сложнаго или ломкаго.

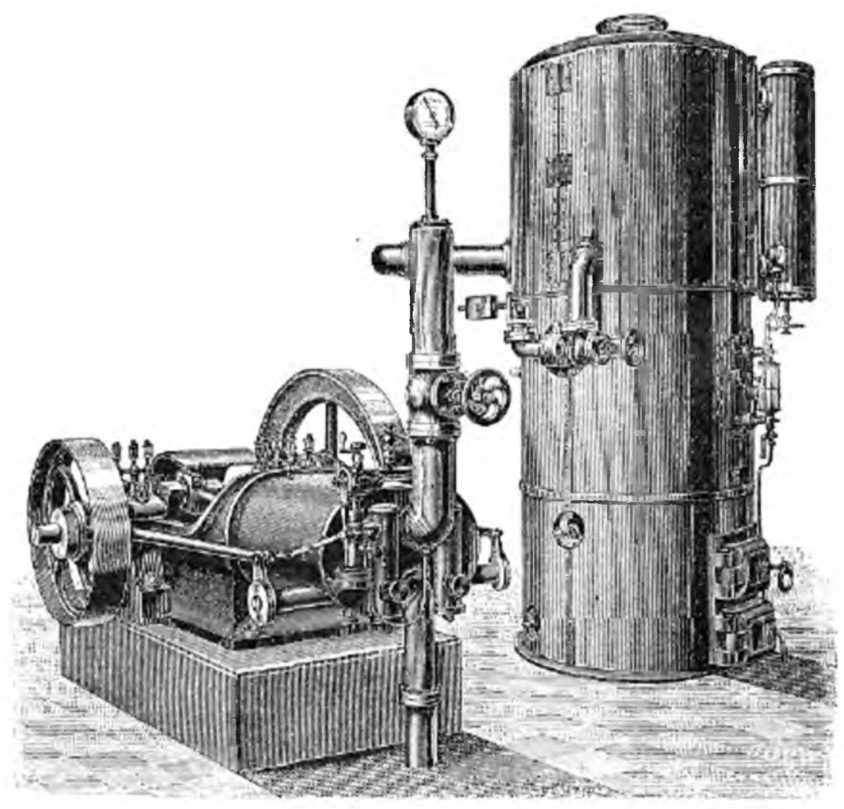
Въ центральной части подогрѣвателя устроена вертикальная широкая труба, снабженная сверху задвижкой, управляемой кочегаромъ при помощи тяги; если задвижка открыта, то газы отъ нижняго котла поднимаются прямо въ дымовую трубу, не обтекая спиралей. Задвижка при началѣ топки открывается и во время работы соотвѣтствующею ея установкою возможно регулировать степень перегрѣванія. Съ устройствомъ этой задвижки связано то неудобство, что ненадежные *кочегары часто ею не пользуются, но оставляютъ ее открытою, такъ что* эффектъ перегрѣванія пропадаетъ и газы утилизируются только въ нижнемъ котлѣ: горячіе же газы уходятъ въ дымовую трубу не вполнѣ утилизированными. Это неудобство устраняется въ настоящее время тѣмъ, что въ пароперегрѣватель вводятъ по мѣрѣ надобности чистую, идущую изъ подогрѣвателя, питательную воду, лишенную составныхъ частей котельной накипи; благодаря этому поверхность пароперегрѣвателя представляетъ изъ себя отчасти и поверхность нагрѣва котла и степень перегрѣва возможно регулировать въ широкихъ предѣлахъ количествомъ равномѣрно впускаемой воды, не открывая задвижки перегрѣвателя.

Поверхность нагрѣва нижняго котла, по предыдущему, можетъ работать значительно сильнѣе, чѣмъ при другихъ котлахъ, такъ какъ здѣсь нѣтъ необходимости стараться получить по возможности сухой паръ; весь котелъ на опредѣленную мощность благодаря этому меньше по размѣрамъ.

Тамъ, гдѣ позволяетъ мѣсто, и въ особенности для большой мощности котлы Шмидта въ новѣйшее время строятся по большей части въ видѣ горизонтальныхъ корнваллійскихъ котловъ; они сохранились до сихъ поръ именно въ этомъ видѣ. Перегрѣватель вмазывается сзади собственно котла и горячіе газы, по выходѣ *изъ жаровой трубы, могутъ быть направляемы установкой задвижки или непо*средственно къ перегрѣвателю или предварительно черезъ внѣшніе дымоходы и затѣмъ только къ нему, или же при отчасти открытой задвижкѣ они могутъ идти отчасти по одному пути, отчасти по другому; кочегаръ большимъ или меньшимъ открываніемъ задвижки можетъ регулировать степень перегрѣванія пара. Такъ какъ корнваллійскіе котлы сами по себѣ доставляютъ сухой паръ, то нѣтъ необходимости въ данномъ случаѣ въ подогрѣвателѣ и въ испарителѣ.

Для примѣненія перегрѣтаго водяного пара Шмидтъ конструировалъ паровую машину, работающую перегрѣтымъ паромъ и имѣющую сравнительно съ обыкновенными паровыми машинами нѣкоторыя существенныя и интересныя улучшенія. Машины эти строятся какъ вертикальными,

такъ и горизонтальными, какъ на высокое давленіе, такъ и компаундъ съ охлажденіемъ. Тогда какъ движущіяся части ихъ похожи на подобныя же части другихъ машинъ, рабочее пространство пара устроено совсѣмъ новымъ и оригинальнымъ способомъ съ цѣлью соединенія большей экономіи съ большею безопасностью ихъ работы. Небольшія вертикальныя одноцилиндровыя машины высокаго давленія конструированы по типу газовыхъ двигателей: цилиндръ съ одной стороны открытъ, благодаря чему нѣтъ необходимости имѣть сальникъ; поршень можетъ непосредственно помощью шатуна работать на кривошипъ безъ крестовины или крейцкопфа и параллелограмма Ватта. По большей

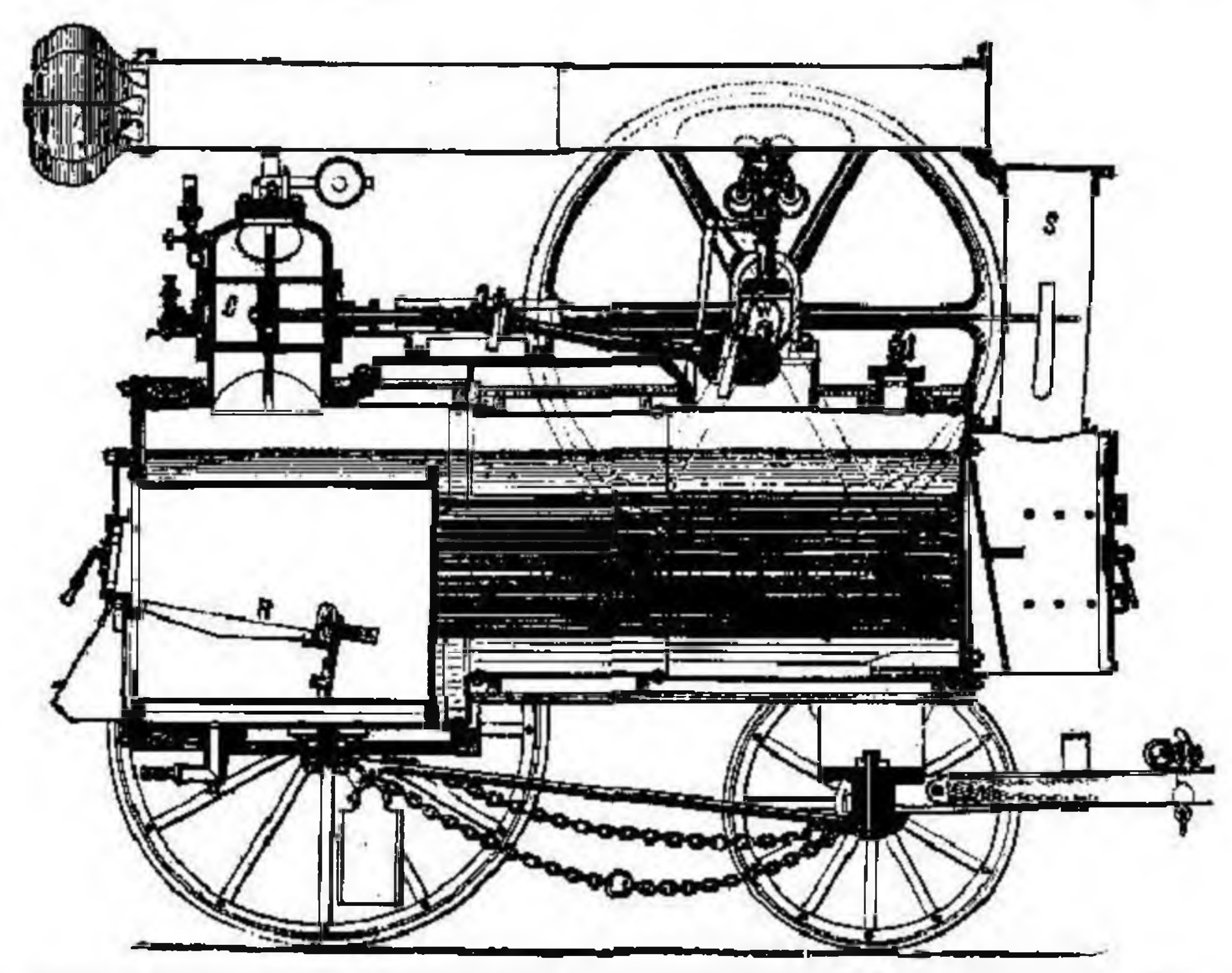


910. Паровая машина Шмидта, работающая перегрѣтымъ паромъ.

части они строятся въ видѣ машинъ тандемъ съ совершенно спеціальной конструкціей цилиндра, болѣе детальное описаніе котораго насъ завело бы слишкомъ далеко. Цилиндры высокаго и низкаго давленія и ресиверъ непосредственно безъ промежуточныхъ перегородокъ и безъ сальниковъ соединены другъ съ другомъ; работаетъ только одинъ поршень, имѣющій различные діаметры въ обоихъ цилиндрахъ; имѣется только одинъ поршневой стержень и одинъ сальникъ, разсчитанный только на весьма небольшое давленіе, около $^1/_2$ атмосферы. Вся машина работаетъ какъ трехцилиндровая, и хотя каждый цилиндръ здѣсь одиночнаго дѣйствія, однако общее дѣйствіе на валъ здѣсь двойное и подобно дѣйствію парового цилиндра двойного дѣйствія.

Машины эти строятся различной величины, въ видѣ горизонтальныхъ машинъ компаундъ, двойныхъ тандемъ до 500 лошадиныхъ силъ. Машины эти, точно также какъ и пароперегрѣватель, первоначально возбуждали со-

мнѣніе относительно прочности, однако на практикѣ онѣ прекрасно сохраняются даже послѣ многолѣтней работы; въ особенности вполнѣ подтвердились ожиданія относительно экономіи въ парѣ при примѣненіи пароперегрѣвателей; дѣйствительность превзошла даже всѣ ожиданія. Опыты съ 35-сильной вертикальной машиной высокаго давленія дали неслыханно низкій для данной мощности расходъ угля отъ 0,88 до 0,99 кгр. на эффективную лошадиную силу въ часъ. Опыты съ первой выстроенной компаундъ машиной тандемъ съ охлажденіемъ въ 60 лошадиныхъ силъ дали расходъ пара въ 5,6 кгр. на лошадь — часъ и расходовали на полученіе пара 0,7 кгр. угля на лошадиную силу въ часъ. Выдающійся нѣмецкій специалистъ, руководившій послѣдними опытами, проф. Шрётеръ изъ Мюнхена утверждаетъ, что машины Шмидта представляютъ собою начало новаго развитія паровыхъ

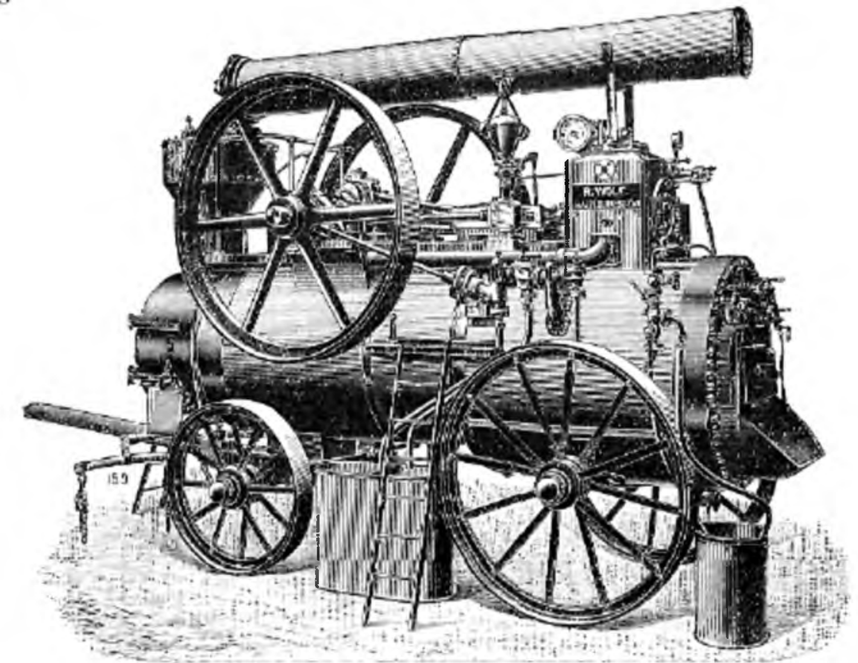


911. **Локомобиль съ трубчатымъ котломъ съ выдвижными дымогарными трубами** (сѣченіе).

машинъ, въ дальнѣйшихъ успѣхахъ которыхъ вплоть до достиженія ими полнаго тріумфа нельзя сомнѣваться.

Локомобили.

Локомобили представляютъ изъ себя паровыя машины, непосредственно соединенныя съ генераторомъ пара, котломъ, и устраиваются главнымъ образомъ съ тою цѣлью, чтобы имѣть переносный двигатель, содержащій въ себѣ все необходимое для того, чтобы онъ могъ въ любомъ мѣстѣ, безъ фундамента и какихъ либо другихъ предварительныхъ установокъ, развивать механическую энергію; для его дѣйствія необходимы только топливо и питательная вода. Локомобиль состоитъ изъ парового котла съ топкой и дымовой трубою, а также изъ полной паровой машины, установленной на общемъ подвижномъ основаніи. Котелъ представляетъ главную часть всей машины; на немъ укрѣплены всѣ движущіяся части. Надъ топкой расположенъ цилиндръ съ золотниковой коробкой, на другомъ концѣ расположенъ маховикъ съ главнымъ валомъ, и между ними надъ или сбоку котла движутся поршневые стержни, парораспредѣлительные механизмы и т. д. Локомобили



912. **Передвижной локомобиль высокаго давленія съ автоматическимъ регулированіемъ расширенія Р. Вольфа въ Буккау-Магдебургѣ.**

913. **Передвижной компаундъ локомобиль съ ресиверомъ Р. Вольфа въ Буккау-Магдебургѣ.**

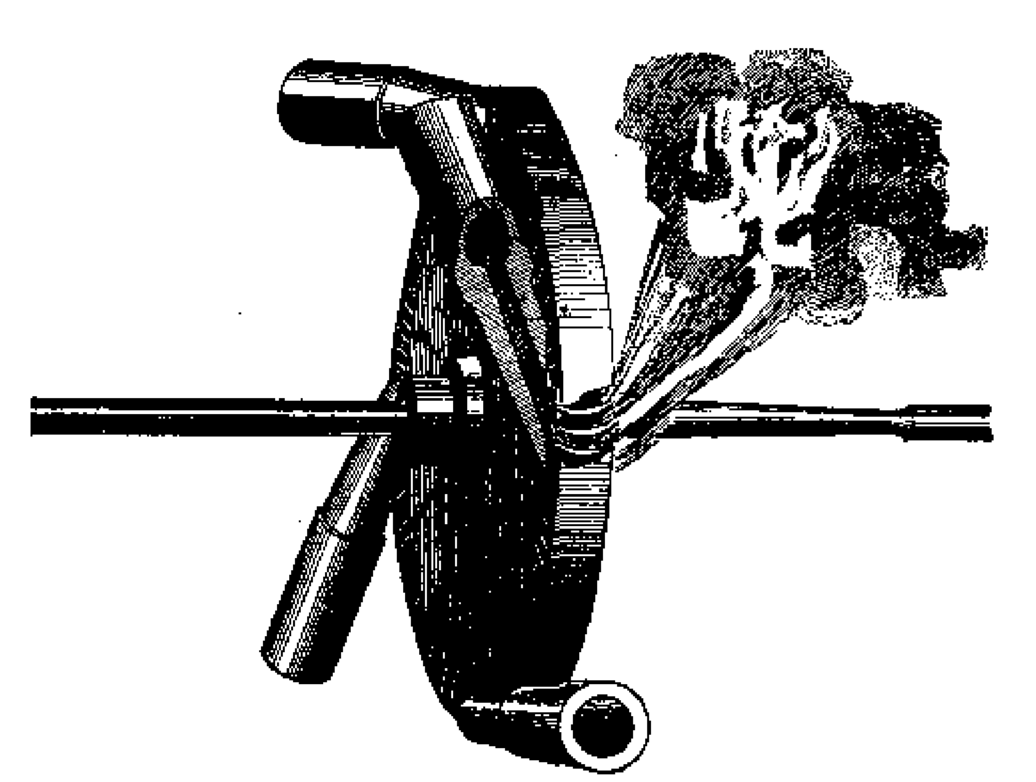
примѣняются уже съ тридцатыхъ годовъ; въ теченіи долгаго времени они получались по преимуществу изъ Англіи, въ позднѣйшее же время нѣмецкіе локомобили по выдѣлкѣ сравнялись съ англійскими, а въ солидности и тщательности выдѣлки даже превзошли ихъ. Локомили находятъ примѣненіе въ тѣхъ особыхъ случаяхъ, гдѣ установка постоянныхъ паровой машины и котла не доступны или не раціональны, въ особенности для временныхъ работъ; они принадлежатъ съ давнихъ поръ къ наиболѣе важнымъ генераторамъ энергіи въ сельскомъ хозяйствѣ. Они примѣняются въ широкихъ размѣрахъ также для приведенія въ дѣйствіе водяныхъ насосовъ, напр., при устройствѣ каналовъ, при рытьѣ фундаментовъ, для временныхъ электрическихъ установокъ и т. д. Котлы локомобилей устраиваются почти исключительно съ дымогарными трубами и для нихъ выработанъ особый типъ локомобильнаго котла, о которомъ говорилось уже ранѣе. Для локомобилей берутся обыкновенно одноцилиндровыя машины высокаго давленія; въ послѣднее время для большой мощности примѣняются также и машины компаундъ. На рис. 911 видна какъ конструкція котла, такъ и расположеніе всей машины съ паровымъ цилиндромъ, поршнемъ, поршневымъ стержнемъ, шатуномъ, кривошипомъ, маховикомъ и регуляторомъ. Верхняя часть дымовой трубы S сдѣлана откидною на шарнирѣ для большаго удобства при перевозкѣ; въ верхней части труба снабжена искротушителемъ. Топка по большей части устраивается съ обыкновенными колосниками R; сложныя конструкціи топокъ не рекомендуются, однако существуютъ локомобили съ топками, приспособленными для бездымнаго сожиганія топлива. Рис. 912 представляетъ передвижной локомобиль высокаго давленія съ выдвижною системою трубъ и съ автоматическимъ регулированіемъ расширенія Р. Вольфа въ Буккау-Магдебургѣ, большой нѣмецкой фабрики локомобилей, которая на многихъ выставкахъ при опытахъ превзошла вступавшія съ нею въ состязанія англійскія фирмы. Для спеціальныхъ цѣлей устанавливаютъ при локомобиляхъ на одной общей сзади платформѣ или непосредственно при котлѣ приводимыя имъ въ дѣйствіе рабочіе механизмы, какъ напр. насосы, динамомашины и т. д. Подобнаго рода машины пригодны для работы на водокачкахъ, при различныхъ гидротехническихъ сооруженіяхъ; они могутъ быть примѣняемы и въ видѣ пожарныхъ паровыхъ насосовъ; по отдѣленіи насоса они могутъ служить какъ обыкновенные локомобили для приведенія въ дѣйствіе любого механизма. Локомобили высокаго давленія строятся обыкновенно на 8—35 лошадиныхъ силъ; на большую мощность, въ 20—50 лошадиныхъ силъ, рекомендуются, хотя и слишкомъ дорогіе и сложные, но доставляющіе большую экономію при работѣ въ углѣ, локомобили компаундъ съ ресиверами; подобный локомобиль Р. Вольфа со всѣми принадлежностями изображенъ на рис. 933.

Примѣненіе локомобилей представляетъ во многихъ случаяхъ не только для временныхъ установокъ, но и для постоянныхъ нѣкоторыя преимущества передъ постоянными паровыми котлами и паровыми машинами въ виду того, что котелъ, машина и всѣ принадлежности въ нихъ соединены въ одномъ мѣстѣ и всегда всѣ находятся на виду. Съ давнихъ поръ въ виду этого часто примѣняются такъ называемые постоянные, неподвижные локомобили (названіе собственно не соотвѣтствуетъ смыслу слова, такъ какъ при локомобиляхъ характерною является ихъ легкая подвижность). Ихъ примѣняютъ въ особенности тамъ, гдѣ требуется весьма перемѣнная работа, т. е. гдѣ часто требуется бóльшая энергія, чѣмъ обыкновенно, а также въ видѣ запаса при вододѣйствующихъ машинахъ, когда напр. турбины не въ состояніи въ теченіи всего времени работы полностью покрывать спроса; они при этомъ имѣютъ еще то преимущество, что занимаютъ меньше мѣста, чѣмъ отдѣльные котелъ и паровая машина. Для правильной постоянной

работы, если при этомъ имѣется достаточно мѣста для полной установки котла и паровой машины, послѣднія слѣдуетъ вообще предпочесть, такъ какъ въ нихъ отдѣльныя части устроены лучше, онѣ могутъ быть лучше приспособляемы для особыхъ установокъ и ихъ можно лучше содержать въ исправности; въ помѣщеніи, гдѣ находится топка, что именно и имѣетъ мѣсто при локомобиляхъ, нельзя избѣгнуть скораго загрязненія частей машины, а это для нея вредно. Конструкція неподвижныхъ локомобилей совсѣмъ такова же, какъ и передвижныхъ; ихъ только устанавливаютъ не на подвижномъ основаніи, а на чугунной неподвижной рамѣ.

Паровыя турбины.

Уже давно дѣлались попытки утилизировать силу водяного пара инымъ способомъ, чѣмъ это дѣлается при обыкновенныхъ паровыхъ машинахъ, т. е. вмѣсто полученія вращательнаго движенія отъ движущагося впередъ и назадъ въ цилиндръ поршня черезъ посредство поршневого стержня, шатуна и кривошипа стремились конструировать болѣе простую машину, дающую прямо вращательное движеніе приводнаго главнаго вала. Ранѣе стремились утилизировать работоспособность пара такимъ же путемъ, какъ это дѣлается при поршневыхъ машинахъ; но существующія конструкціи подобнаго рода имѣли недостатки вслѣдствіе трудности полученія соединеній, не пропускающихъ паръ, большаго числа движущихся частей и были практически не примѣнимы. Давно также пробовали строить паровые двигатели по типу **турбинъ**; но они были не экономичны вслѣдствіе большого потребленія пара: въ то время не были въ состояніи заключающуюся въ парѣ энергію непосредственно превращать въ живую силу болѣе экономичнымъ способомъ, чѣмъ это имѣетъ мѣсто въ турбинахъ.



914. Колесо и сопло паровой турбины де-Лаваля.

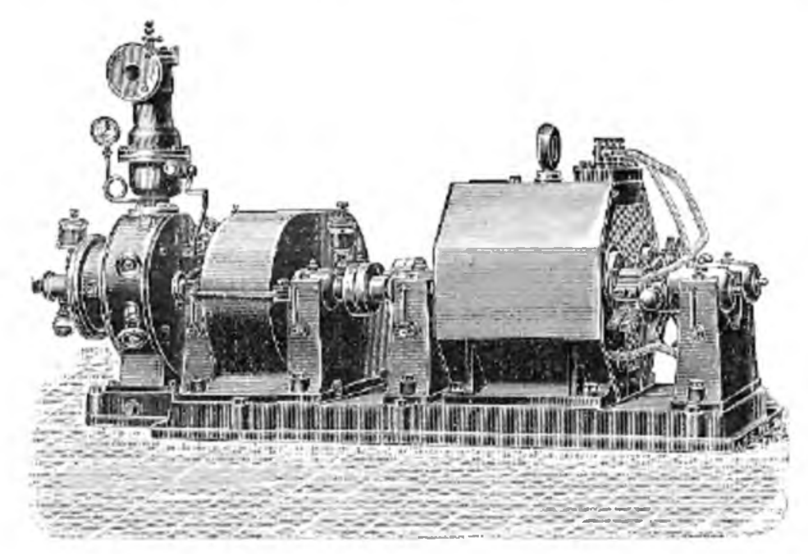
Приблизительно пятнадцать лѣтъ тому назадъ конструированы двѣ паровыя турбины, представляющія уже существенныя улучшенія. На выставкѣ въ Манчестерѣ 1886 года получили большую извѣстность паровыя турбины **Парсона** и сейчасъ же какъ тамъ, такъ и въ Ньюкестлѣ, онѣ были примѣнены въ широкихъ размѣрахъ для работы на динамомашины; онѣ были въ работѣ также и на Всемірной парижской выставкѣ 1889 года и нашли еще ранѣе обширное примѣненіе въ англійскомъ флотѣ. Въ послѣдніе годы онѣ однако были оттѣснены на задній планъ турбинами новой конструкціи д-ра Густава **де-Лаваля** изъ Стокгольма; паровыя турбины де-Лаваля также были выставлены въ Парижѣ и съ нѣкотораго времени онѣ широко распространились и работаютъ весьма успѣшно. Всѣ затрудненія очень просто разрѣшены въ этой турбинѣ; скорость притекающаго пара, отъ которой зависитъ живая сила и связанная съ нею мощность, доведена до наибольшей достижимой величины приданіемъ впускному соплу соотвѣтствующей формы:

тюрбинныя колеса имѣютъ число оборотовъ, точно соотвѣтствующее этой большой скорости.

Если мы примѣнимъ ранѣе изложенное о тюрбинахъ къ паровымъ тюрбинамъ де-Лаваля, то мы должны ее считать за осевую тюрбину съ партіальнымъ притокомъ пара (не по всей окружности); къ тюрбинному колесу, сидящему на тонкой горизонтальной оси, паръ подводится по нѣсколькимъ, установленнымъ подъ острымъ угломъ къ плоскости колеса, сопламъ съ коническими расширеніями на концахъ, соотвѣтствующими направляющимъ каналамъ обыкновенныхъ тюрбинъ. Число соплъ опредѣляется мощностью тюрбины и давленіемъ пара, у 20-сильной тюрбины, напр., восемь соплъ; паръ поступаетъ сплошною струей изъ оконечника сопла на лопатки, причемъ нѣтъ необходимости въ особомъ, не пропускающемъ пара соединеніи между сопломъ и тюрбиннымъ колесомъ. Способъ дѣйствія тюрбины виденъ изъ рис. 914, представляющаго тюрбинное колесо съ осью и четырьмя паровыми соплами. Соплы придѣланы къ закрытому кольцеобразному каналу для пара, присоединенному къ главной паропроводной трубѣ; послѣдняя снабжена паровпускнымъ клапаномъ; часть соплъ могутъ быть закрываемы клапанами съ ручнымъ маховикомъ, съ тѣмъ, чтобы при меньшемъ притокѣ пара черезъ остальныя было возможно работать при полномъ давленіи, не уменьшая его паровпускнымъ клапаномъ, такъ какъ при этихъ условіяхъ работа тюрбины болѣе экономична. Въ тюрбинахъ утилизируется только живая сила вытекающаго изъ сопла на лопатки колеса пара; расширенія пара въ самихъ колесахъ здѣсь не происходитъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ паровыхъ машинахъ. Сопламъ долженъ быть приданъ такой видъ, чтобы паръ уже въ нихъ расширялся до атмосфернаго давленія, соотвѣтствующаго давленію въ кожухѣ тюрбины; благодаря увеличенію объема, сопровождающему это расширеніе, получается значительное увеличеніе скорости вытеканія и, такимъ образомъ, заключающаяся въ парѣ энергія превращается въ живую силу, которая и передается лопаткамъ тюрбины. Скорость потока пара въ расширеніи сопла при расширеніи его отъ 5 до 1 атмосферы достигаетъ 770 м.; когда же паръ не выпускается изъ тюрбины прямо въ воздухъ, но, какъ и въ паровыхъ машинахъ, его переводятъ въ холодильникъ и здѣсь ожижаютъ, причемъ въ тюрбинахъ получается разрѣженное пространство, то скорость эта при паденіи съ 5 атмосферъ примѣрно до $^1/_{10}$ атмосферы достигаетъ 1100 метровъ въ сек. Эта большая скорость, однако, на самомъ дѣлѣ не можетъ быть вполнѣ утилизирована въ тюрбинѣ, такъ какъ скорость по окружности при этомъ была бы слишкомъ большою; послѣдняя имѣетъ предѣлъ около 350 м. въ секунду; при большихъ скоростяхъ предъявляются изъ-за центробѣжной силы слишкомъ высокія требованія относительно прочности матеріаловъ. При очень большихъ скоростяхъ слишкомъ увеличиваются также потери на треніе тюрбиннаго колеса о воздухъ; *послѣднія уменьшаютъ примѣненіемъ холодильника, который всегда полезенъ,* если только его возможно примѣнить. Колеса состоятъ изъ двухъ крѣпкихъ стальныхъ дисковъ, между которыми укрѣплены отдѣльныя лопатки съ зубьями; діаметръ колесъ достигаетъ 10—50 см. въ тюрбинахъ на 5—100 лошадиныхъ силъ; у 20-сильной тюрбины діаметръ колеса 20 см.; скорость по окружности въ ней 300 м. въ секунду; число оборотовъ равно 30 000—13 000 въ минуту. Практически невозможно достаточно точно уравновѣсить колесо на такое громадное число оборотовъ; если у весьма быстро вращающагося тѣла ось проходитъ не черезъ центръ тяжести, то даже совсѣмъ незначительныя ошибки въ оси вращенія передаются подшипникамъ въ видѣ колебательныхъ движеній; напр., уже при эксцентрицитетѣ тюрбиннаго колеса въ $^1/_{10}$ мм. каждый килограммъ его вѣса, благодаря вліянію центробѣжной силы, давитъ на подшипники съ силою въ 100 кгр. Де-Лаваль нашелъ

очень простое рѣшеніе этого вопроса; онъ помѣщаетъ тюрбинное колесо на весьма тонкую ось, напр., у 20-сильной тюрбины ось имѣетъ діаметръ только 12—13 мм., которая настолько эластична, что можетъ весьма незначительно пригибаться, уступая при вращеніи вліянію центробѣжной силы и, такимъ образомъ, сама собою ось приводится въ строго центральное положеніе, которое затѣмъ и удерживается при любой скорости вращенія; благодаря этому уничтожаются разрушающія дѣйствія на подшипники и получается вполнѣ спокойное вращеніе. Производство паровыхъ тюрбинъ де-Лаваля въ Германіи взялъ на себя большой машиностроительный заводъ Гумбольдта въ Калькѣ близъ Кельна; онъ производитъ тюрбины мощностью отъ 5 до 200 лошадиныхъ силъ (во Франціи тюрбины строятся даже до 300 лошадиныхъ силъ).

Такъ какъ указанное число оборотовъ еще слишкомъ велико для непосредственнаго привода отъ главнаго вала, то обыкновенно вращеніе его



915. Паровая тюрбина де-Лаваля, соединенная съ динамомашиной съ двойной арматурой.

уменьшается приблизительно въ 10—30 разъ; движеніе отъ оси тюрбиннаго колеса сперва передается расположенному на томъ же основаніи передаточному валу при помощи двухъ небольшихъ червяковъ и двухъ колесъ отъ 10 до 30 разъ большаго діаметра; послѣднія передаютъ энергію рабочимъ механизмамъ или непосредственнымъ соединеніемъ, или дальнѣйшею передачею при помощи ремней. Для приведенія въ дѣйствіе механизмовъ, совершающихъ большое число оборотовъ, какъ, напр., динамомашинъ, центробѣжныхъ насосовъ, центрифугъ и т. д. можно примѣнять и непосредственное соединеніе съ передаточнымъ приводомъ; при этомъ получается установка, занимающая весьма мало мѣста при сравнительно большой мощности. Рис. 915 изображаетъ паровую тюрбину, непосредственно соединенную съ 30-сильною динамомашиною. Въ ней, какъ и во всѣхъ большихъ тюрбинахъ, для устраненія односторонняго бокового давленія приводятся въ движеніе отъ тюрбиннаго вала два передаточные привода, лежащіе по обѣимъ сторонамъ главнаго вала и служащіе для вращенія въ одномъ и томъ же направленіи двухъ арматуръ (якорей); послѣдніе могутъ быть соединяемы или параллельно, или послѣдовательно и, такимъ образомъ, возможно получать по желанію токъ въ 110 или 220 вольтъ. Колесо этой тюрбины дѣлаетъ 20 000 оборотовъ, оба передаточные привода съ арматурами динамомашинъ совершаютъ 2000 обо-

ротовъ въ минуту. Тюрбинное колесо расположено въ узкомъ кожухѣ налѣво; надъ нимъ помѣщенъ пароприводный клапанъ, выше спереди соединительный флянецъ паропровода. Весьма чувствительный центробѣжный регуляторъ, приводимый въ дѣйствіе однимъ изъ передаточныхъ приводовъ, дѣйствуетъ при посредствѣ рычага на паровпускной клапанъ и поддерживаетъ скорость вращенія до 2—3% при самыхъ разнообразныхъ мгновенныхъ измѣненіяхъ нагрузки, такъ что установка эта пригодна какъ для электрическаго освѣщенія, такъ и для передачи работы. Съ передней стороны кожуха тюрбины на рисункѣ видны рукоятки паровпускныхъ клапановъ отдѣльныхъ паровыхъ соплъ. Динамомашина заключена въ восьмигранный предохранительный кожухъ; средній кожухъ прикрываетъ средніе подшипники и упомянутую ранѣе пару зубчатыхъ колесъ.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровыхъ тюрбинъ очень высокъ, причемъ при большихъ давленіяхъ пара онъ, какъ и въ паровыхъ машинахъ, выше; въ тюрбинахъ возможно пользоваться значительно большимъ давленіемъ пара, чѣмъ въ паровыхъ машинахъ, такъ какъ въ нихъ нѣтъ подвижныхъ, непропускающихъ паръ частей, какъ, напр., поршни и сальники. Небольшія и среднихъ размѣровъ тюрбины отъ 5 до 40 лошадиныхъ силъ расходуютъ при выпускѣ пара прямо въ воздухъ при давленіи пара въ 6 атмосферъ — 20—25 кгр. пара на эффективную лошадиную силу въ часъ; при очень большихъ давленіяхъ пара, до 20 атмосферъ, расходъ пара при 50—100 сильныхъ тюрбинахъ безъ охлажденія падаетъ до 13—14 кгр. При примѣненіи холодильниковъ работа тюрбинъ еще экономичнѣе; 20—40-сильныя тюрбины расходуютъ около 12—13 кгр. пара въ атмосферѣ давленія или 10—11 кгр. при 20 атмосферахъ, т.-е. столько же, сколько и очень хорошія большія паровыя машины компаундъ; въ самыхъ большихъ изъ построенныхъ до сихъ поръ паровыхъ тюрбинахъ на 100—300 лошадиныхъ силъ расходъ пара падаетъ до 9 кгр. Эти весьма благопріятные, по сравненію съ поршневыми паровыми машинами, результаты вмѣстѣ съ большою простотою работы тюрбинъ и ихъ обслуживанія, небольшимъ мѣстомъ, занимаемымъ ими, и легкостью ихъ установки должны, повидимому, обезпечить новымъ двигателямъ мѣсто среди современныхъ двигателей. Для ихъ установки нѣтъ необходимости въ тяжелыхъ фундаментахъ, что необходимо при громоздкихъ паровыхъ машинахъ, такъ какъ здѣсь нѣтъ ни перемѣны давленій, ни дѣйствія большихъ движущихся массъ; тюрбины до 30 лошадиныхъ силъ могутъ быть устанавливаемы, какъ показано на рисункѣ, на чугунной фундаментной рамѣ прямо на полу.

Машины, работающія парами нефти. Само собою разумѣется, что въ качествѣ передатчика энергіи, т.-е. въ качествѣ рабочаго матеріала въ паровыхъ машинахъ можетъ быть примѣняемъ не только водяной паръ; любая другая жидкость, легко переходящая въ паръ, можетъ замѣнить здѣсь воду. Съ начала девятидесятыхъ годовъ неоднократно уже упоминавшійся машиностроительный заводъ акціонернаго общества Эшеръ, Виссъ и К° строитъ небольшія машины, дѣйствующія парами нефти и служащія для движенія небольшихъ катеровъ; для катеровъ машины эти представляютъ извѣстныя преимущества. Вертикальный котелъ состоитъ только изъ одной спиральной мѣдной трубы емкостью около 1 литра; такъ какъ такая труба безопасно выдерживаетъ очень большія давленія, то опасности взрыва здѣсь почти нѣтъ. Для топки здѣсь примѣняется также нефть; большая круглая горѣлка непосредственно питается выдѣляющимися въ котлѣ парами нефти, которыя перемѣшиваются съ необходимымъ для ихъ горѣнія воздухомъ въ особомъ приборѣ; для первоначальнаго разогрѣванія служитъ небольшая особая горѣлка, къ которой подводится жидкая нефть. Развивающіеся въ котлѣ пары нефти при 4—6 атмосферахъ давленія приводятъ въ дѣйствіе

вертикальную паровую машину съ тремя, лежащими одинъ возлѣ другого, цилиндрами простого дѣйствія; послѣдніе окружены кожухами, въ которые впускается изъ цилиндровъ отработавшій паръ нефти; кожухи при помощи трубопроводовъ, лежащихъ въ водѣ подъ катеромъ, сообщаются съ резервуаромъ для нефти; паръ нефти ожижается въ трубопроводѣ и жидкость возвращается обратно въ резервуаръ, изъ котораго питается котелъ. Изъ запаса нефти расходуется, такимъ образомъ, только количество, необходимое для топки. Пусканіе въ ходъ и обслуживаніе машины просты: зажиганіемъ малой горѣлки въ нѣсколько минутъ нефть въ котлѣ доводится до кипѣнія, послѣ чего *начинаетъ дѣйствовать отъ паровъ нефти и главная горѣлка; машина* можетъ быть пущена въ ходъ изъ любого положенія безъ предварительнаго ея вращенія, что необходимо при газовыхъ и керосиновыхъ двигателяхъ, благодаря тому, что всѣ три поршня дѣйствуютъ на кривошипъ изъ различныхъ положеній.

Подобныя машины непригодны для большой мощности, напр., какъ промышленные или заводскіе двигатели.

Газовые двигатели.

Бензиновые и керосиновые двигатели.

О газовыхъ двигателяхъ вообще. Старые газовые двигатели. Атмосферическіе двигатели Барнетта, Ленуара, Гюгона, Отто и Лангенса. Новый газовый двигатель Отто. Способъ дѣйствія новаго двигателя Отто. Различныя конструкціи газовыхъ двигателей Дейтцъ. Газовый двигатель съ динамомашиной Кертинга. 200-сильный газовый двигатель, двойной тандемъ съ динамомашиной. Газовые двигатели для электрическаго освѣщенія въ городахъ. Другія новыя системы газовыхъ двигателей. Устройство установки съ газовымъ двигателемъ. Работа съ газовымъ двигателемъ и сравненіе ея съ работой паровыми машинами. Дальнѣйшее развитіе газовыхъ двигателей. Работа газовыхъ двигателей генераторнымъ газомъ (газомъ Довсона). Большіе газовые двигатели. Бензиновые и керосиновые двигатели.

Изобрѣтеніемъ и усовершенствованіемъ паровыхъ машинъ промышленности и техникѣ былъ доставленъ двигатель, при помощи котораго стало возможнымъ получать неслыханныя до тѣхъ поръ двигательныя силы; для полученія небольшой механической энергіи въ отдѣльныхъ мѣстахъ, напр., для мастерскихъ и для мелкой промышленности паровыя машины не пригодны. Не считая того, что онѣ, чѣмъ онѣ меньше, тѣмъ съ меньшимъ коэффиціентомъ работаютъ, а, слѣдовательно, менѣе экономичны, установка и обслуживаніе паровыхъ машинъ вмѣстѣ съ котломъ связаны для малыхъ мастерскихъ со многими обстоятельствами, вслѣдствіе которыхъ онѣ здѣсь не могутъ найти большого примѣненія. Если бы машина и шла только временами, котлы все-таки необходимо сохранять постоянно подъ парами; установки, дѣйствующія паромъ, вслѣдствіе опасности взрыва подвержены большимъ ограниченіямъ въ городахъ и въ особенности въ жилыхъ зданіяхъ. Для мелкой промышленности требуется двигатель небольшой силы, занимающій мало мѣста, легко устанавливаемый вездѣ и могущій быть пущеннымъ въ ходъ въ любое время, смотря по надобности, безъ предварительной подготовки; надо имѣть возможность легко его обслуживать и если нѣтъ въ немъ надобности, то имѣть возможность не держать его постоянно наготовѣ; работа его не должна представлять никакой опасности и, наконецъ, работа и ремонтъ его должны быть дешевы. Этимъ требованіямъ, которыя не могутъ быть удовлетворены паровыми машинами, вслѣдствіе ихъ особенностей, вполнѣ отвѣчаютъ газовые двигатели; они могутъ замѣнять паровыя машины на небольшія и среднія силы и уже давно они стали самымъ важнымъ двигателемъ въ мелкой промышленности.

Газовые двигатели, какъ и паровыя машины, принадлежатъ къ калорическимъ машинамъ, такъ какъ въ нихъ скрытая энергія горючихъ тѣлъ,

именно теплота горѣнія, заключающаяся въ газообразномъ топливѣ, превращается въ механическую силу. Принципъ дѣйствія ихъ заключается въ пользованіи упругостью сжигаемыхъ газовъ и взрывчатой смѣси; послѣдній значительно проще, чѣмъ принципъ дѣйствія паровыхъ машинъ, такъ какъ здѣсь топливо само непосредственно производитъ давленіе на поршень, тогда какъ въ паровыхъ машинахъ, какъ мы знаемъ, полученная при горѣніи угля энергія сперва передается другому носителю тепла или энергіи — водяному пару. Поэтому слѣдуетъ удивляться, что газовые двигатели были изобрѣтены лишь сто лѣтъ спустя послѣ изобрѣтенія паровыхъ машинъ, хотя упругія свойства сжигаемыхъ газовъ были извѣстны уже значительно раньше.

Если смѣшать въ извѣстномъ соотношеніи свѣтильный газъ и воздухъ и зажечь ихъ въ замкнутомъ пространствѣ, то смѣсь вспыхиваетъ или взрываетъ, т.-е. сгораетъ весьма быстро; при этомъ выдѣляется большое количество тепла, благодаря чему сгорѣвшіе газы нагрѣваются до высокой температуры и доводятся до высокаго давленія. Взрывъ сильнѣе и внѣшнее дѣйствіе его больше въ томъ случаѣ, когда воздухъ и газъ смѣшаны въ такомъ отношеніи, что количество кислорода перваго вполнѣ достаточно для полнаго сжиганія газа. При избыткѣ газа только часть его сгораетъ; при излишкѣ воздуха въ смѣси, развивающееся тепло расходуется также и на нагрѣваніе излишка воздуха, а потому внѣшнее дѣйствіе взрыва въ этомъ случаѣ меньше. При слишкомъ большомъ избыткѣ воздуха, т.-е. при недостаткѣ газа, смѣсь вообще не загорается; смотря по соотношенію въ смѣси составныхъ частей, горѣніе протекаетъ или медленно или мгновенно, въ видѣ взрыва. Обыкновенный свѣтильный газъ состоитъ изъ большого числа различныхъ составныхъ частей, именно, не считая незначительнаго количества азота, кислорода, окиси углерода и углекислоты, изъ водорода и различныхъ углеводородовъ. Теплота горѣнія даннаго газа зависитъ, главнымъ образомъ, отъ состава послѣднихъ; теплота горѣнія городского свѣтильнаго газа достигаетъ 5000 калорій на 1 куб. м. газа. Смотря по составу газа, различно также количество воздуха, который необходимъ для полнаго сгоранія и при которомъ смѣсь начинаетъ или прекращаетъ быть горючей или взрывчатой; вообще свѣтильный газъ начинаетъ горѣть съ развитіемъ давленія, при примѣси четверного объема воздуха, а при 12 частяхъ воздуха на 1 часть газа смѣсь становится невоспламеняемою. Наибольшее внѣшнее дѣйствіе происходитъ при примѣси къ 1 части газа отъ 5 до $7^1/_2$ частей воздуха. При горѣніи получается углекислота и пары воды безъ другихъ остатковъ, не считая не принимающаго участія въ горѣніи азота воздуха и иногда несгорѣвшаго избытка газа или кислорода воздуха. Развивающеюся при горѣніи или взрывѣ смѣси газа и воздуха въ замкнутомъ пространствѣ упругостью горючаго газа мы и пользуемся для произведенія работы при посредствѣ газовыхъ двигателей. Эта сила, которая могла бы при происшедшемъ по неосторожности взрывѣ разрушить цѣлый домъ, нами связана надлежащимъ образомъ и совершаетъ намъ полезную механическую работу, благодаря соотвѣтствующимъ приспособленіямъ.

Практически установлено, что теоретически наиболѣе выгодное соотношеніе въ смѣси газа и воздуха, т. е. то, при которомъ выдѣляется наибольшее количество тепла и развивается большее давленіе, не примѣнимо въ газовыхъ двигателяхъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ давленіе и температура непосредственно за взрывомъ были бы слишкомъ велики и части машинъ не могли бы выдержать мгновенныхъ сильныхъ ударовъ и весьма быстро изнашивались бы. Вслѣдствіе этого постоянно работаютъ съ менѣе богатыми газомъ смѣсями. Не смотря на это температура при горѣніи бываетъ выше, чѣмъ та, которую могутъ выдерживать части двигателя; вслѣдствіе этого постоянно приходится возможно скорѣе отнимать часть развивающагося тепла

непрерывнымъ охлажденіемъ стѣнокъ цилиндра. Конечно при этомъ происходятъ потери, такъ какъ отнятое водою количество тепла не утилизируется при расширеніи сгорѣвшихъ газовъ; въ виду этого не слѣдуетъ охлаждать стѣнокъ цилиндра болѣе, чѣмъ это необходимо.

Такъ какъ энергія, развиваемая при взрывѣ, пропорціональна количеству сгорѣвшаго газа, а послѣдній при данномъ объемѣ зависитъ отъ плотности газа, то при примѣненіи сгущеннаго газа, т. е. сжатой смѣси увеличивается внѣшнее дѣйствіе; этимъ пользуются, сжимая смѣсь передъ ея воспламененіемъ.

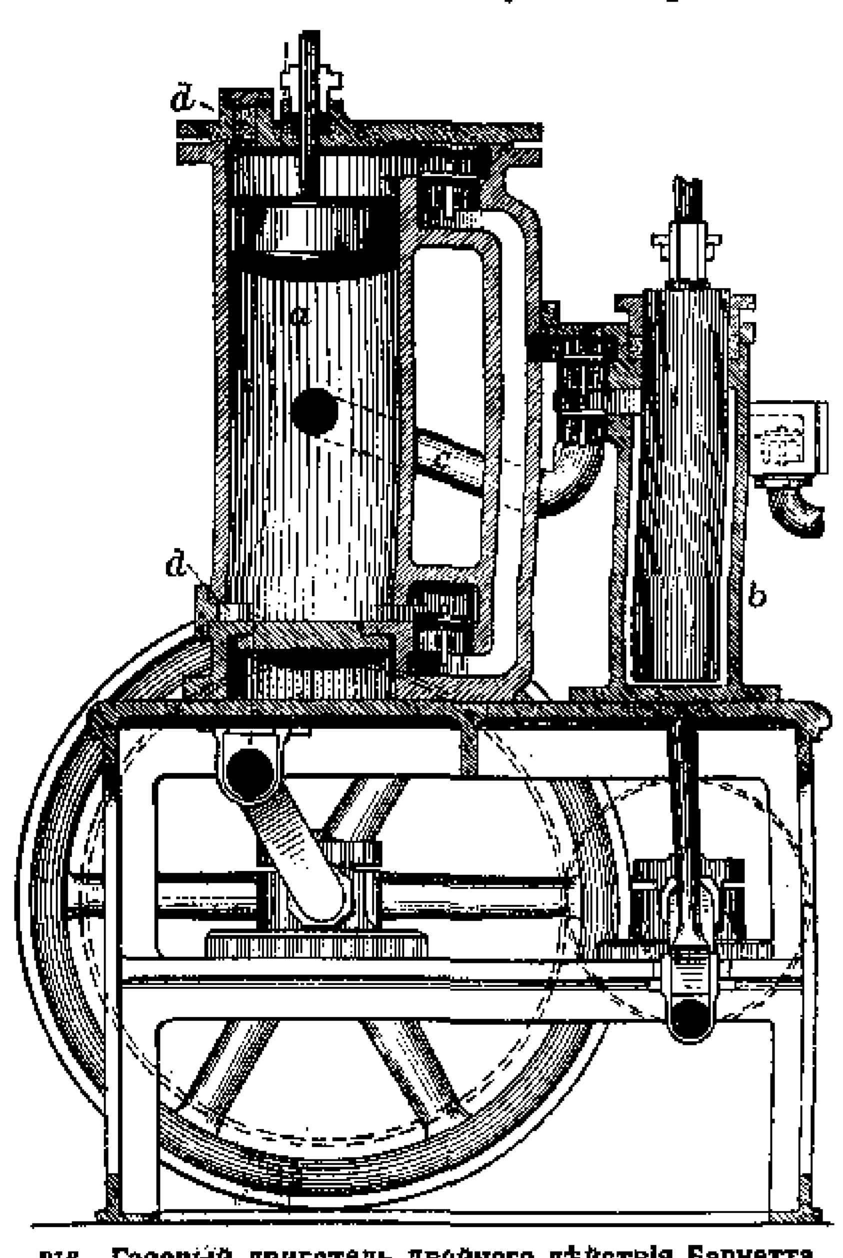
Развитіе газовыхъ двигателей въ историческомъ и техническомъ отношеніяхъ.

Самыми старыми газовыми двигателями, въ широкомъ смыслѣ, могутъ считаться пушки; не считая ихъ, такъ какъ онѣ не представляютъ двигателя въ обыкновенномъ смыслѣ этого слова, слѣдуетъ считать первыми предшественниками газовыхъ двигателей пороховые двигатели. Подобный двигатель былъ конструированъ уже Гюйгенсомъ; онъ описываетъ подобный двигатель съ цилиндромъ и поршнемъ въ сочиненіи 1680 года; поршень въ немъ приводился въ движеніе сжиганіемъ пороха. Папинъ также конструировалъ подобный двигатель, какъ это уже было описано въ предыдущей главѣ; но эти попытки не имѣли успѣха; также не имѣли успѣха и опыты, произведенные сто лѣтъ спустя въ концѣ 18-го столѣтія въ Англіи, гдѣ горючимъ матеріаломъ былъ уже не порохъ, а горючіе газы. Въ первое десятилѣтіе 19-го столѣтія въ Англіи было взято много привиллегій на газовые двигатели, изъ которыхъ двигатели Врайта (Wright) (1833 г.) уже довольно близки къ позднѣйшимъ двигателямъ подобнаго рода: въ цилиндрѣ работаетъ смѣсь горючаго газа и воздуха, подобно пару въ паровыхъ машинахъ; цилиндры были окружены оболочкою для охлажденія водою и двигатель былъ снабженъ регуляторомъ для регулированія притока газа.

Въ 1838 году англичаниномъ Барнеттомъ были взяты привилегіи на три различные газовые двигателя, въ которыхъ въ главныхъ чертахъ уже ясно видны тѣ же основанія, по которымъ и до сихъ поръ еще строятся газовые двигатели. Первый двигатель былъ простого дѣйствія; онъ состоялъ изъ цилиндра съ особымъ пространствомъ для газовой смѣси и газоваго и воздушнаго насосовъ, для накачиванія въ это пространство газа и воздуха. Послѣднее наполнялось къ тому времени, когда рабочіе поршни приходили въ мертвую точку; если его теперь соединить съ цилиндромъ и воспламенить газовую смѣсь, то благодаря взрыву поршни начнутъ двигаться вверхъ. При этомъ разъединяется соединеніе между пространствомъ для газовой смѣси и цилиндромъ и при обратномъ движеніи поршня продукты горѣнія вытѣсняются изъ цилиндра. Устройство для воспламененія у этого двигателя было сдѣлано уже вполнѣ правильно. Второй двигатель былъ конструированъ по тому же принципу; онъ былъ двойного дѣйствія, т. е. по обѣимъ сторонамъ цилиндра было по резервуару для газовой смѣси и при каждомъ движеніи поршня впередъ и назадъ производилось по взрыву.

Въ третьемъ двигателѣ, также двойного дѣйствія, не было особаго пространства для газовой смѣси; двигатель этотъ изображенъ на рис. 916; *a* — рабочій цилиндръ, *b* — воздушный насосъ; сзади расположенъ газовый насосъ. Смѣсь газа и воздуха вгоняется обоими насосами въ цилиндръ и притомъ попеременно, въ пространство сверху и снизу поршня. Газообразные продукты горѣнія отходятъ черезъ трубу *c*, придѣланную къ серединѣ цилиндра или высасываются особымъ высасывающимъ насосомъ. При нахожденіи поршня напр. вверху, цилиндръ подъ нимъ заполненъ газообразными

продуктами горѣнія отъ предыдущаго взрыва; при ходѣ поршня внизъ они вытѣсняются черезъ *c*, пока поршенъ не совершитъ половины своего пути и не закроетъ выходного отверстія; затѣмъ оставшіеся газы сжимаются и одновременно оба насоса вгоняютъ въ нижнюю часть цилиндра газъ и воздухъ, которые такимъ образомъ смѣшиваются съ остающимися газами; сверху и снизу сотвѣтственно верхняго и нижняго положеній поршня остается еще нѣкоторое пространство въ цилиндрѣ, въ которыхъ смѣсь газовъ и сжимается поршнемъ. Когда поршень достигнетъ самаго низкаго положенія, происходитъ воспламененіе сжатой смѣси; подобный же ходъ явленій повторяется по другую сторону поршня. Газообразные продукты горѣнія начинаютъ выходить изъ цилиндра сейчасъ же, какъ только выходное отверстіе будетъ перейдено поршнемъ, т. е. будетъ открыто. Воспламененіе производится при помощи платиновой черни, помѣщенной въ углубленіи *d*; способность къ воспламененію увеличивается при сжатіи газа и такимъ образомъ, при наибольшемъ сжатіи, т. е. при положеніи поршня въ концѣ хода происходитъ воспламененіе.



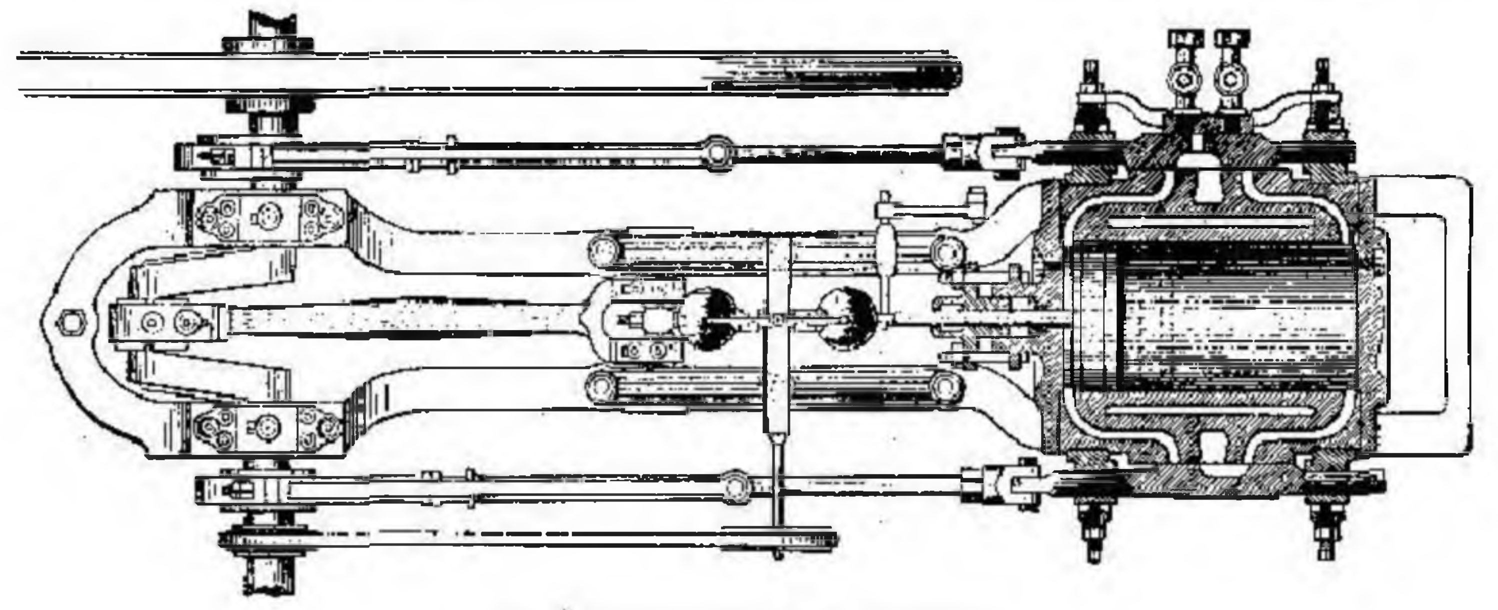
916. Газовый двигатель двойного дѣйствія Барнетта.

Этотъ двигатель однако имѣлъ нѣкоторые недостатки, вслѣдствіе чего онъ былъ вообще непримѣнимъ для работы — о постройкѣ его для практическаго примѣненія по крайней мѣрѣ ничего не извѣстно, — но онъ заключалъ въ себѣ почти всѣ главнѣйшія составныя части современныхъ газовыхъ двигателей; важно въ немъ главнымъ образомъ сжатіе смѣси газа и воздуха передъ воспламененіемъ, — хотя повидимому самъ Барнеттъ не придавалъ этому обстоятельству большого значенія. Дальнѣйшими усовершенствованіями въ конструкціи Барнетта является перемѣщеніе резервуара для газовой смѣси на продолженіе самого рабочаго цилиндра и воспламененіе при мертвой точкѣ. Достойно удивленія, что изобрѣтеніе Барнетта не было развито далѣе; оно было почти совсѣмъ забыто и патентъ Барнетта былъ отысканъ только значительно позже, по поводу спора изъ за патентовъ между позднѣйшими конструкторами.

Какъ и двигатели Барнетта, не имѣли никакого успѣха многочисленныя конструкціи, появлявшіяся въ ближайшіе два десятилѣтія; они оставались неизвѣстными въ техническомъ мірѣ до тѣхъ поръ, пока въ 1860 году не началось впервые дѣйствительное развитіе газовыхъ двигателей съ устройствомъ перваго удобнаго для практическаго примѣненія газоваго двигателя Ленуара. Ленуаръ первоначально былъ работникомъ на одной бронзовой фабрикѣ; впослѣдствіи вмѣстѣ съ однимъ товарищемъ онъ основалъ гальванопластическое заведеніе, но не имѣлъ съ этимъ предпріятіемъ никакого

успѣха; еще менѣе онъ имѣлъ успѣха въ осуществленіи мысли воспользоваться электромагнетизмомъ для цѣлей движенія. Скоро онъ понялъ, что дороговизна получаемой такимъ способомъ энергіи исключаетъ практическое примѣненіе этого способа; затѣмъ онъ пытался вмѣсто электромагнитной силы воспользоваться силою взрыва смѣси газа и воздуха для полученія механической работы и послѣ нѣсколькихъ неудачныхъ попытокъ ему удалось разрѣшить эту задачу. Онъ вошелъ въ соглашеніе съ парижскимъ заводчикомъ Маріони, который много содѣйствовалъ практической разработкѣ газовыхъ двигателей; въ 1860 году онъ взялъ патентъ на свой газовый двигатель.

Всѣ газовые двигатели, какъ и паровыя машины, можно подраздѣлить на атмосферическіе и двигатели прямого дѣйствія; главное различіе, какъ и въ паровыхъ машинахъ то, что въ первыхъ, благодаря сгоранію небольшого количества смѣси газа и воздуха, поршень движется, не производя работы, и затѣмъ при охлажденіи упругость газообразныхъ продуктовъ горѣнія въ



917. Газовый двигатель Ленуара.

цилиндрѣ быстро падаетъ, причемъ внѣшнее давленіе воздуха дѣйствуетъ на поршень, совершая работу. При газовыхъ двигателяхъ прямого дѣйствія, наоборотъ, выдѣляющаяся въ цилиндрѣ при сгораніи газовъ энергія вслѣдствіе увеличенія упругости газообразныхъ продуктовъ горѣнія непосредственно передаетъ полезную работу поршнямъ. Описанный двигатель Барнетта былъ двигателемъ прямого дѣйствія; такимъ же былъ и двигатель Ленуара. Онъ оказался вполнѣ примѣнимымъ на практикѣ и обратилъ на себя всеобщее вниманіе. Хотя основанія, на которыхъ Ленуаръ устроилъ свой двигатель, едва ли представляютъ какой либо успѣхъ сравнительно съ Барнеттовскими, все таки Ленуару принадлежитъ заслуга въ томъ, что онъ благодаря своей настойчивости осуществилъ на дѣлѣ свои изобрѣтенія; Ленуара вслѣдствіе этого слѣдуетъ считать изобрѣтателемъ газовыхъ двигателей. Его двигатель изображенъ на рис. 917; на немъ видно, что расположеніе частей и конструкція его совсѣмъ сходны съ паровыми машинами. Въ теченіи первой части движенія поршень всасываетъ, приблизительно до положенія, означеннаго пунктиромъ, смѣсь газа и воздуха въ цилиндръ, затѣмъ распредѣлительный механизмъ закрываетъ впускной каналъ и производится воспламененіе смѣси электрической искрой; смѣсь газа взрываетъ, причемъ развивается давленіе въ 5—6 атмосферъ, и благодаря этому поршень продолжаетъ двигаться до конца хода. Во время послѣдующаго, обратнаго хода поршня газообразные продукты горѣнія выгоняются черезъ выпускной клапанъ, и ходъ явленія повторяется. Для электрическаго воспламененія служитъ индукціонный приборъ, соединенный съ бунзеновской баттареей; ходомъ поршня

производится въ извѣстномъ его положеніи перерывъ индукціоннаго тока и въ газовой смѣси въ цилиндрѣ производится искра. Въ остальномъ двигатель работаетъ, какъ уже упомянуто, совершенно подобно паровой машинѣ. Движеніе поршня передается посредствомъ поршневыхъ стержней и шатуна кривошипу главнаго вала съ маховикомъ; отъ послѣдняго посредствомъ эксцентрика съ золотниковой тягой и золотника приводится въ дѣйствіе распредѣленіе притока газа и воздуха и выпускъ газообразныхъ продуктовъ горѣнія.

Газовые двигатели Ленуара были хорошо обдуманы и конструированы, и они работали при хорошемъ уходѣ за ними спокойно и вполнѣ хорошо. Вскорѣ, послѣ того, какъ по полученіи патента весною 1860 года первые двигатели вошли въ употребленіе, ими завладѣла сильно преувеличенная коммерческая реклама, скорѣе повредившая ихъ дальнѣйшему развитію, чѣмъ оказавшая ими услугу. Баснословные разсказы появились не только въ ежедневныхъ газетахъ, но и въ большинствѣ техническихъ журналовъ о новомъ изобрѣтеніи; судя по нимъ, двигатели работаютъ значительно дешевле, чѣмъ паровыя машины, доживающія будто бы послѣдніе дни, не считая другихъ всѣхъ ихъ преимуществъ и т. п. Вскорѣ однако наступилъ рѣзкій поворотъ; послѣ того какъ первые двигатели побыли нѣкоторое время въ употребленіи и были произведены опредѣленія расхода газа, оказалось, что расходы по эксплоатаціи при этихъ двигателяхъ значительно выше; *точные опыты дали вмѣсто опредѣленнаго на глазъ расхода въ $^1/_2$ куб.* метра въ часъ на лошадиную силу по меньшей мѣрѣ 3 куб. метра. Этимъ была рѣшена ихъ участь; большая часть ихъ скоро превратилась въ желѣзный хламъ и, какъ въ началѣ расхваливаніе ихъ переходило границы, такъ теперь они стали хуже, чѣмъ были на самомъ дѣлѣ. Этому еще содѣйствовалъ въ особенности тотъ недостатокъ, что они требовали большого количества смазочнаго матеріала; ихъ сравнивали съ вращающимся кускомъ сала и говорили въ ироническомъ смыслѣ, преувеличивая, что хотя они и не требуютъ кочегара, но за то имъ необходимо постоянно подливать масло. Въ дѣйствительности истина была посрединѣ. Газовые двигатели Ленуара были вполнѣ примѣнимыми двигателями для цѣлей мелкой промышленности тамъ, гдѣ по ранѣе указаннымъ причинамъ не пригодно примѣненіе паровыхъ машинъ, и они удерживались еще до семидесятыхъ годовъ даже при *позднѣйшихъ болѣе новыхъ и совершенныхъ газовыхъ двигателяхъ.*

Одновременно съ Ленуаромъ, но независимо отъ него, директоръ газоваго завода въ Парижѣ, Гугонъ, послѣ многолѣтнихъ безплодныхъ попытокъ конструировать атмосферическій газовый двигатель, построилъ газовый двигатель, какъ и двигатели Ленуара, непосредственнаго и двойного дѣйствія, и въ шестидесятыхъ годахъ получилъ съ нимъ благопріятные результаты. Двигатель Гугона, благодаря нѣкоторымъ улучшеніямъ, нѣсколько превосходитъ двигатель Ленуара; расходъ газа и смазочныхъ матеріаловъ въ немъ меньше; первый достигаетъ около 2,5 куб. метровъ на лошадиную силу въ часъ. Не всегда исправно дѣйствующее электрическое воспламененіе здѣсь замѣнено болѣе надежно дѣйствующимъ воспламененіемъ посредствомъ небольшого спеціальнаго пламени.

Со второй парижской всемірной выставки, въ 1867 году, начинается *новая эра въ развитіи газовыхъ двигателей. Отто и Лангенъ* изъ Дейтца выставили здѣсь небольшой газовый двигатель въ $^1/_2$ лошадиной силы совсѣмъ новой конструкціи, на который вначалѣ почти не обратили вниманія и на который смотрѣли во всякомъ случаѣ совсѣмъ не благопріятно; двигатель казался слишкомъ громоздкимъ сравнительно съ его мощностью и при работѣ производилъ сильный, неравномѣрный и непріятный шумъ. Когда же, послѣ болѣе подробнаго его испытанія, послѣ опредѣленія его мощности тормазомъ и расхода газа газовымъ счетчикомъ, было доказано,

что расходъ газа въ немъ достигаетъ неслыханно низкой величины въ 0,82 куб. метра на лошадиную силу въ часъ — величина, перейденная только новѣйшими хорошими газовыми двигателями — тогда было доказано его превосходство надъ всѣми предшествовавшими газовыми двигателями. Двигатель этотъ былъ атмосферическимъ двигателемъ простого дѣйствія и вертикальнымъ. Главнѣйшее въ его конструкціи заключалось въ томъ, что давленіе при взрывѣ не передавалось отъ поршня шатуну и кривошипу, но поршень при взрывѣ свободно поднимался, не соединенный съ валомъ; только достигнувъ высшаго положенія, поршневой стержень при помощи особаго приспособленія захватываетъ за кривошипъ; вслѣдствіе остыванія газообразныхъ продуктовъ горѣнія подъ поршнемъ образуется сильное разрѣженіе и внѣшнее давленіе заставляетъ поршень двигаться внизъ, совершая при этомъ работу. Во время подъема поршня двигатель продолжаетъ работать только благодаря живой силѣ маховика. При полной нагрузкѣ подъемы поршня слѣдуютъ непосредственно одинъ за другимъ; если при уменьшеніи нагрузки скорость увеличивается, то дѣйствіемъ особаго регулирующаго приспособленія поршень, по опусканіи его, остается нѣкоторое время внизу; воспламененіе смѣси и вмѣстѣ съ тѣмъ ходъ поршня начинается снова только тогда, когда скорость дойдетъ до нормальной, т.-е. когда явится опять необходимость сообщить маховику новое количество энергіи. Вмѣсто электрическаго возпламененія введено было пламя для зажиганія. Эти атмосферическіе газовые двигатели Отто и Лангена, не смотря на нѣкоторые ихъ недостатки, въ теченіи десяти лѣтъ почти вездѣ считались лучшими двигателями для мелкой промышленности; за этотъ промежутокъ времени фирмой было установлено свыше 10 000 такихъ двигателей; теперь же и эта конструкція имѣетъ только историческое значеніе. Изобрѣтатели и другіе техники впослѣдствіи неустанно занимались устраненіемъ недостатковъ этого двигателя, но за исключеніемъ введенія нѣкоторыхъ измѣненій и улучшеній вполнѣ устранить всѣ недостатки его имъ не удалось.

Новый двигатель Отто. Ко времени третьей парижской всемірной выставки, та же фирма Отто и Лангенъ, превратившаяся къ тому времени въ заводъ газовыхъ двигателей Дейтцъ, послѣ того, какъ она 10 лѣтъ тому назадъ вызвала такой переворотъ въ построеніи газовыхъ двигателей своими атмосферическими газовыми двигателями, перестала заниматься усовершенствованіями двигателей этого рода и вновь возвратилась къ двигателямъ непосредственнаго дѣйствія. Выставленный ею газовый двигатель прямого дѣйствія, названный, по имени изобрѣтателя его, двигателемъ Отто, былъ прекрасно конструированъ; въ немъ, благодаря значительнымъ улучшеніямъ, были устранены вполнѣ всѣ недостатки болѣе старыхъ двигателей непосредственнаго дѣйствія. Двигатели эти вскорѣ оставили въ тѣни всѣ предшествовавшія конструкціи и стали прототипомъ почти для всѣхъ позднѣйшихъ конструкцій. Не считая превосходной конструкціи всѣхъ отдѣльныхъ частей, существенныя улучшенія въ этихъ двигателяхъ заключаются въ слѣдующемъ: сжатіе газовой смѣси передъ воспламененіемъ, воспламененіе при мертвой точкѣ и примѣненіе четырехъ тактовъ. Во всѣхъ, болѣе раннихъ газовыхъ двигателяхъ, смѣсь газа и воздуха зажигалась въ рабочемъ цилиндрѣ при атмосферномъ давленіи; какъ уже ранѣе упомянуто, дѣйствіе взрыва тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе сжата смѣсь; въ двигателяхъ Отто и во всѣхъ позднѣйшихъ конструкціяхъ, вслѣдствіе этого, газъ передъ воспламененіемъ сжимается до $2^1/_2$ или 3 атмосферъ. Благодаря этому, какъ цилиндръ, такъ и весь двигатель, становятся меньшими по размѣрамъ для опредѣленной мощности. Для помѣщенія газовой смѣси цилиндръ на одной сторонѣ удлиненъ; когда поршень на этой сторонѣ дойдетъ до своего конечнаго положенія, — еще остается нѣкоторое пространство, наполненное сжатою газовою смѣсью. Бла-

годаря такому устройству стало возможнымъ производить взрывъ при конечномъ положенiи поршня, когда поршень при перемѣнѣ движенiя обладаетъ скоростью, равною нулю; при этомъ газы расширяются въ теченiе всего времени хода поршня и производитъ на него давленiе, совершая работу. При этой системѣ зажиганiя въ мертвой точкѣ были избѣгнуты удары и толчки, которые существуютъ при воспламененiи во время движенiя поршня при его скорости, слишкомъ малой для надлежащаго дѣйствiя. Наконецъ, благодаря такъ называемымъ четыремъ тактамъ было достигнуто то, что рабочiй цилиндръ служилъ одновременно и насосомъ для всасыванiя воздуха и газа и для сжатiя ихъ. Ходъ явленiй при работѣ слѣдующiй:

1) При первомъ ходѣ поршня черезъ открытый впускной клапанъ и клапанъ для впуска смѣси всасывается бѣдная газомъ газовая смѣсь, состоящая приблизительно изъ $1/10$ газа и $9/10$ воздуха;

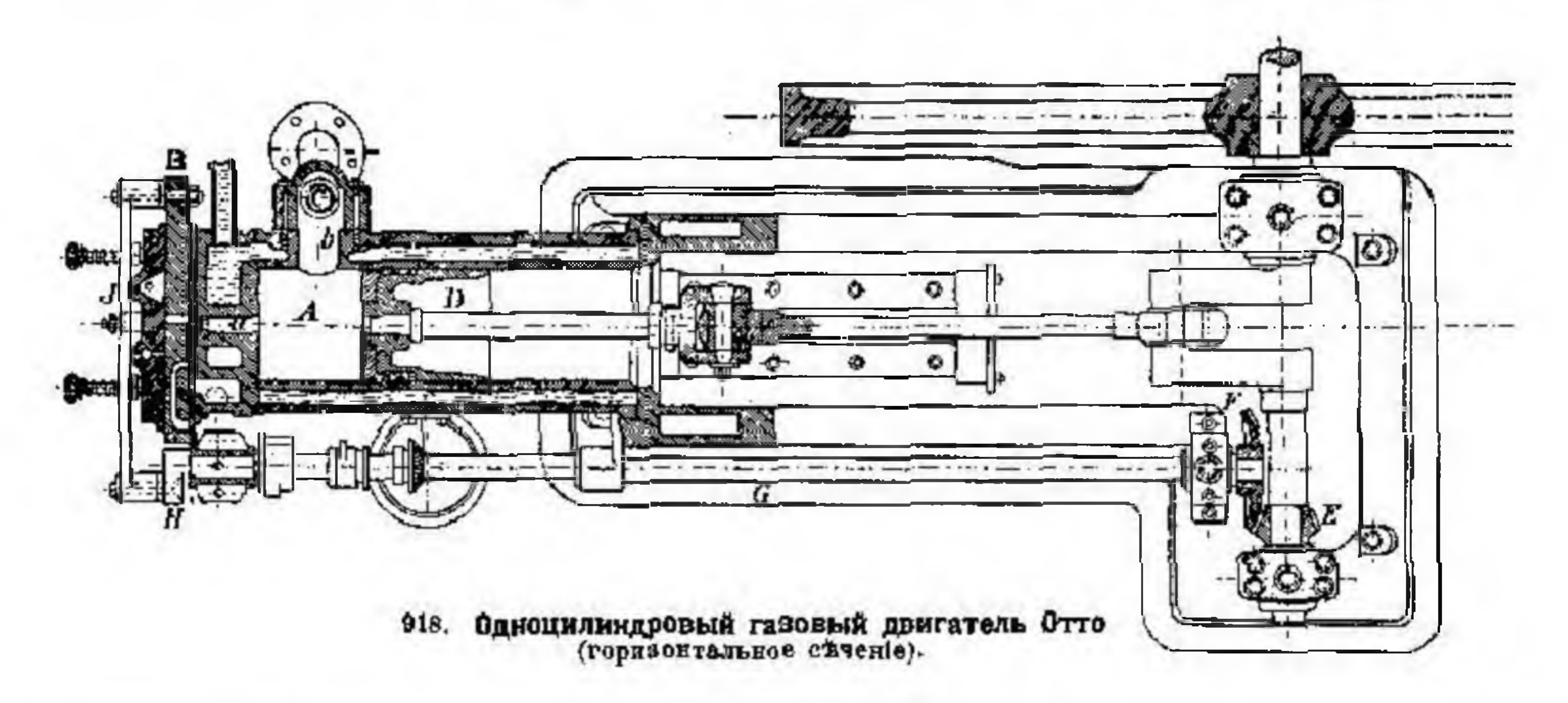
2) При обратномъ ходѣ поршня впускное отверстiе закрывается и всосанная смѣсь сжимается въ цилиндрѣ, т.-е. въ пространствѣ для сжатiя; степень сжатiя зависитъ, такимъ образомъ, отъ объема послѣдняго;

3) Въ концѣ этого хода, въ мертвой точкѣ, происходитъ воспламененiе и развивающееся давленiе газообразныхъ продуктовъ взрыва перемѣщаетъ поршень; при этомъ въ началѣ давленiе достигаетъ около 11 атмосферъ и при расширенiи понижается почти до 3 атмосферъ;

4) При вторичномъ обратномъ ходѣ поршня открывается выпускной каналъ и поршень вытѣсняетъ изъ цилиндра газообразные продукты горѣнiя. При этомъ въ пространствѣ для газовой смѣси остается еще остатокъ, который примѣшивается при слѣдующемъ затѣмъ ходѣ поршня къ свѣжей газовой смѣси, т.-е. ее нѣсколько разрѣжаетъ; раньше стремились начисто вытѣснять изъ цилиндра остатки отъ горѣнiя газовой смѣси; изобрѣтатель новаго двигателя оставилъ эту старую традицiю и оказалось, что онъ при этомъ получилъ лучшiе результаты; остатокъ этотъ никоимъ образомъ не затрудняетъ горѣнiя; вмѣсто мгновенныхъ взрывовъ при этомъ получается болѣе спокойное горѣнiе. Чтобы обезпечить болѣе вѣрное воспламененiе, соотвѣтствующимъ приспособленiемъ достигнуто то, что къ самому мѣсту воспламененiя подходитъ не разрѣженная, а свѣжая газовая смѣсь. Въ новомъ двигателѣ Отто собственно нѣтъ взрывовъ, но, какъ самъ изобрѣтатель указываетъ въ описанiи, при испрашиванiи привилегiи, газовая смѣсь, въ противоположность предыдущимъ газовымъ двигателямъ, сгораетъ медленно, равномѣрно, спокойно и безъ ударовъ. Благодаря этому ходъ двигателя Отто и многихъ другихъ современныхъ двигателей, построенныхъ по тому же принципу, при хорошей конструкцiи и тщательномъ выполненiи, спокоенъ и равномѣренъ настолько, что они могутъ быть примѣняемы для движенiя ткацкихъ и прядильныхъ станковъ и даже такихъ чувствительныхъ къ неравномѣрности хода машинъ, какъ динамомашины. Мгновенные сильные толчки, какъ и непрiятный сильный шумъ, свойства старыхъ взрывныхъ двигателей, въ изобрѣтенiи Отто устранены.

Изъ предыдущаго изложенiя способа дѣйствiй слѣдуетъ, что на четыре простыхъ хода поршня, т.-е. на два полные оборота кривошипа приходится только одинъ взрывъ; большая часть получаемой при этомъ энергiи должна быть передаваема для выравниванiя сильному маховику, такому маховику, который былъ бы въ состоянiи отдавать запасенную энергiю въ теченiи 3 послѣдующихъ ходовъ поршня или во время $1^1/2$ оборотовъ для того, чтобы рабочiя машины могли идти безъ замѣтнаго замедленiя — равномѣрно, и обладали бы, кромѣ того, достаточнымъ запасомъ энергiи для трехъ послѣдующихъ перемѣщенiй поршня. Примѣняя обычныя для другихъ машинъ обозначенiя „простого“ или „двойного“ дѣйствiя, новый двигатель Отто слѣдовало бы назвать двигателемъ половиннаго дѣйствiя.

Три существенные основные принципа двигателей Отто собственно не были совершенно неизвѣстны: значительно ранѣе уже Барнеттъ предлагалъ сжатіе и воспламененіе въ мертвой точкѣ; четверной тактъ также былъ уже описанъ; но предшественники Отто не смогли преодолѣть практическихъ затрудненій, встрѣтившихся при примѣненіи этихъ идей, и не были въ состояніи сдѣлать эти идеи плодотворными. Они придумали газовые двигатели, основанные на тѣхъ же принципахъ, но не могли эти принципы осуществить на дѣлѣ. Въ виду этого, несправедливо сомнѣваться въ принадлежности чести изобрѣтенія Отто и считать его только способнымъ конструкторомъ; не считая того, что патентъ Барнетта и описаніе примѣненія четырехъ тактовъ давно уже были забыты, и едва ли было извѣстно само ихъ существованіе, такъ что Отто самостоятельно вновь пришелъ къ этой мысли; уже самый переходъ отъ извѣстной мысли къ практическому ея осуществленію часто бываетъ труднѣе перваго схватыванія самой мысли. Только послѣ того, какъ вѣсть объ изобрѣтеніи Отто получила всеобщее распространеніе,



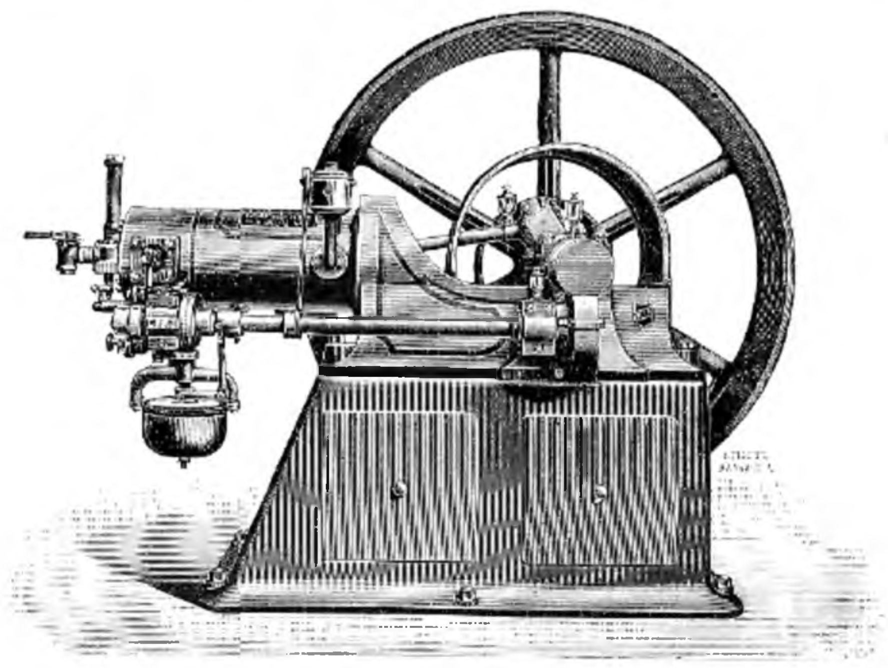
918. Одноцилиндровый газовый двигатель Отто (горизонтальное сѣченіе).

опять были розысканы старые, давно забытые запыленные рукописи и патенты.

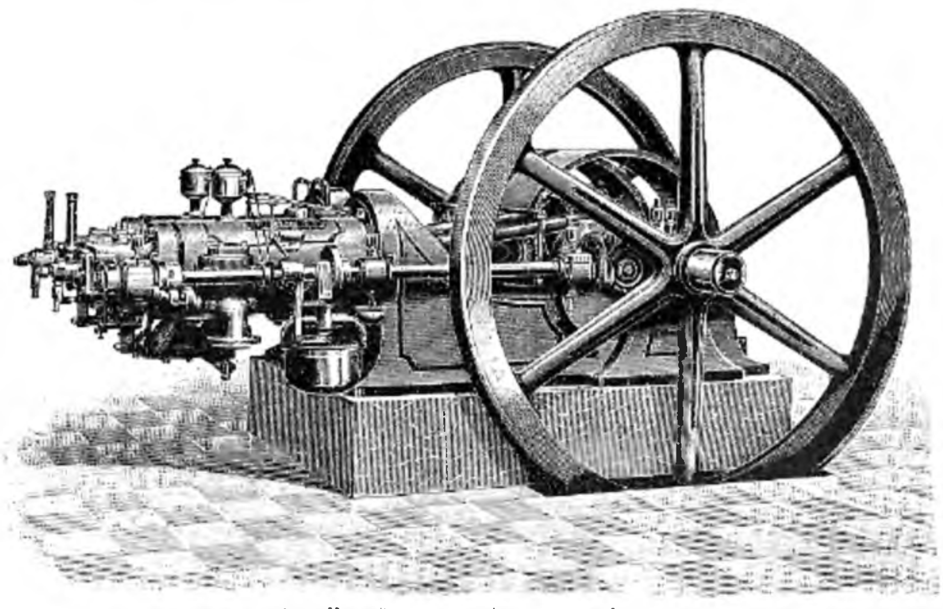
После предыдущаго изложенія, конструкція и дѣйствіе двигателя Отто легко могутъ быть поняты по рис. 918; рисунокъ представляетъ первоначальный горизонтальный одноцилиндровый газовый двигатель, сохранившійся съ небольшими измѣненіями и до сихъ поръ. Изъ рисунка видно, что устройство двигателя похоже на обыкновенную горизонтальную паровую машину высокаго давленія. *A* — цилиндръ, окруженный оболочкой, наполненной водою для охлажденія; на одномъ концѣ онъ открытъ, на другомъ снабженъ удлиненіемъ, пространствомъ для сжатія; длина удлиненія равна приблизительно $^2/_3$ хода поршня. На днѣ пространства для сжатія находится отверстіе *a* для впуска смѣси газа и воздуха и для воспламененія ихъ; оно открывается и закрывается золотникомъ *B*; распредѣлительное приспособленіе золотника приводится въ дѣйствіе отъ главнаго вала, при помощи коническихъ зубчатыхъ колесъ *EF*, вала *G* и кривошипа *H* съ шагуномъ *J*, такимъ образомъ, что во время всасыванія отверстіе *a* приводится въ сообщеніе съ трубами, подводящими газъ и воздухъ, во время же послѣдующихъ трехъ ходовъ поршня оно закрыто, и въ тотъ моментъ, когда поршень находится въ мертвой точкѣ послѣ сжатія газа, черезъ это отверстіе попадаетъ въ пространство для сжатія газовой смѣси пламя для воспламененія; здѣсь не мѣсто излагать болѣе подробно конструктивныя подробности этихъ двигателей. Второе боковое отверстіе *b* съ клапаномъ *c* въ пространствѣ, гдѣ сжимаются газы, служитъ для выпуска газообразныхъ продуктовъ горѣнія; во время вытѣсненія ихъ оно открывается клапаномъ *c*. *D* — рабочій поршень, передающій обычнымъ способомъ работу валу съ маховикомъ при посредствѣ поршневыхъ стержней, шатуна и кривошипа.

Регулированіе хода происходитъ при помощи центробѣжнаго регулятора въ соединеніи со стопорнымъ газовымъ краномъ, по большей части, такимъ обра-

зомъ, что послѣдній, при переходѣ двигателемъ извѣстнаго числа оборотовъ въ минуту, совсѣмъ закрывается и черезъ впускное отверстіе золотника всасывается, такимъ образомъ, одинъ только воздухъ. Нѣкоторое число взрывовъ выпадаютъ

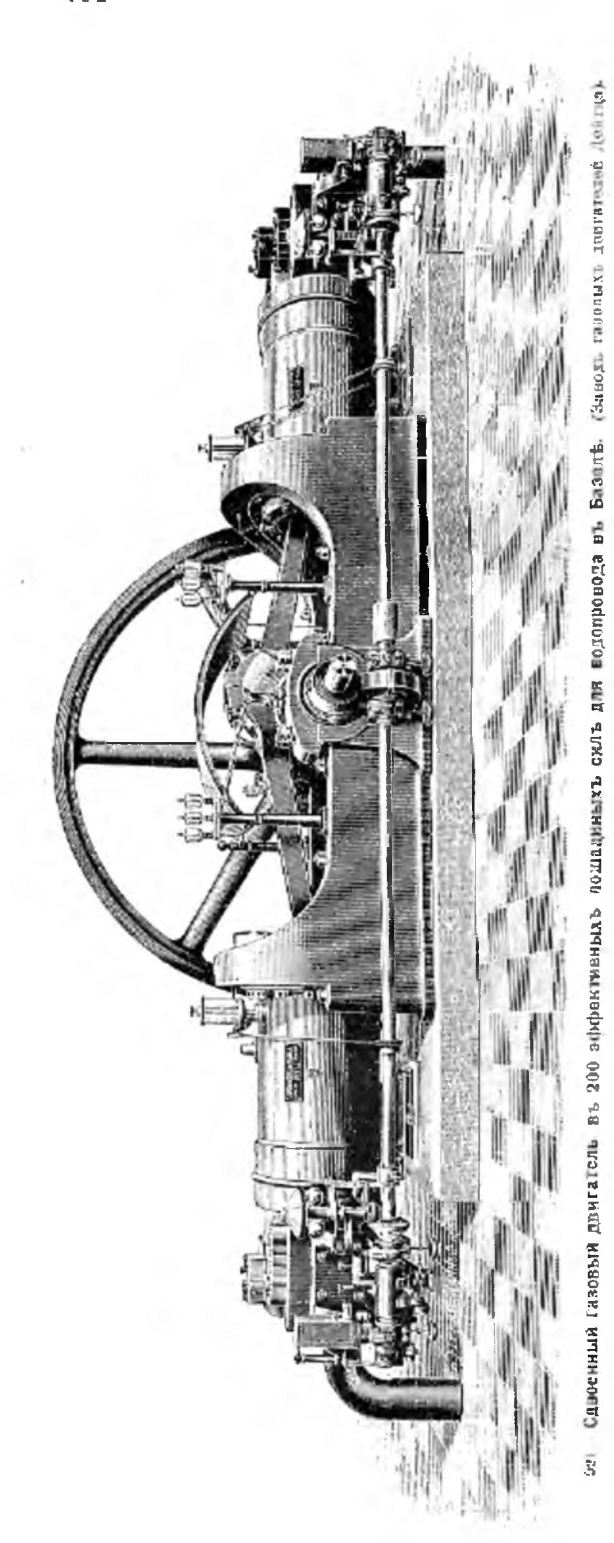


919. Новый горизонтальный газовый двигатель Отто.



920. Новый сдвоенный двигатель Отто.

до тѣхъ поръ, пока опять не наступитъ равномѣрной скорости и газовый клапанъ не будетъ открытъ опустившимся регуляторомъ. Этимъ способомъ, при которомъ или взрывается полный зарядъ газа или горѣнія совсѣмъ не происходитъ, достигается то, что количество газа въ смѣси, при одинъ разъ установленномъ смѣ-

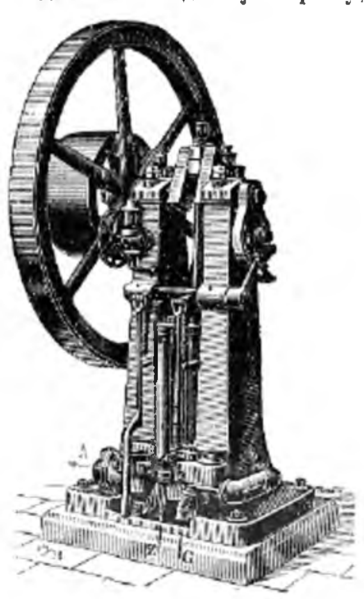


920. Сдвоенный газовый двигатель въ 200 эффективныхъ лошадиныхъ силъ для водопровода въ Базелѣ. (Заводъ газовыхъ двигателей Дейтцъ).

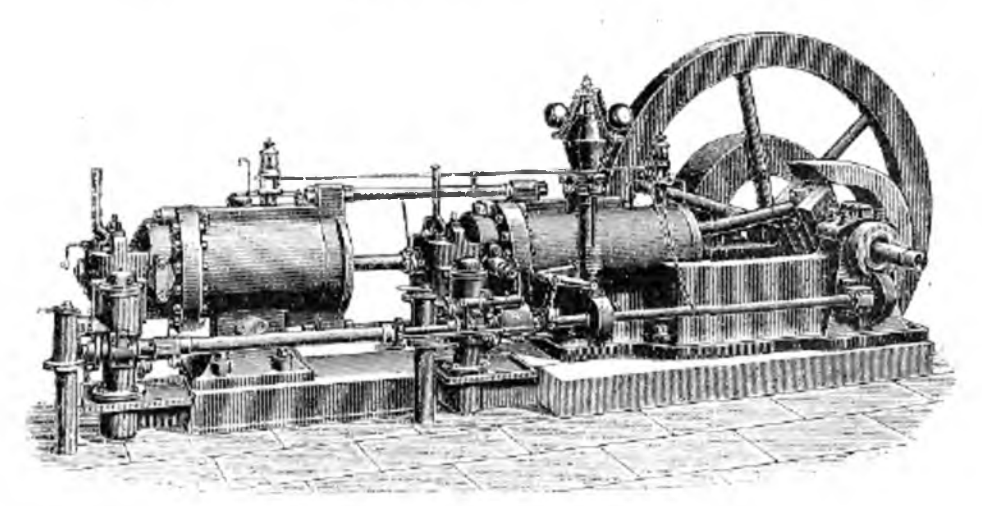
шивающемъ клапанѣ и опредѣленномъ постоянномъ давленiи газа имѣетъ постоянно то же самое наиболѣе выгодное отношенiе къ количеству въ ней воздуха. Въ новѣйшее время двигатели Дейтцъ снабжаются также клапаннымъ распредѣленiемъ вмѣсто золотниковаго.

Двигатели Отто, называемые также двигателями Дейтцъ, строятся заводомъ газовыхъ двигателей Дейтцъ самыхъ разнообразныхъ величинъ, отъ $^1/_8$ и $^1/_4$-сильныхъ карликовыхъ двигателей до 200-сильныхъ (самый большой двигатель изъ выстроенныхъ до настоящаго времени въ 200 силъ будетъ далѣе вкратцѣ описанъ), а также самыхъ разнообразныхъ устройствъ. Первые двигатели, какъ уже упомянуто, были горизонтальными одноцилиндровыми; подобный двигатель средней величины (8 лошадиныхъ силъ) изображенъ на рис. 919. Когда требуется весьма равномѣрный ходъ, устраиваются двигатели съ двумя маховыми колесами, по одному съ каждой стороны вала. Для большинства случаевъ примѣненiя газовыхъ двигателей, въ особенности для промышленныхъ цѣлей, равномѣрность хода одноцилиндроваго двигателя вполнѣ достаточна, несмотря на то, что, какъ изложено выше, на два оборота приходится по одному взрыву. Въ примѣненiи къ движенiю динамомашинъ то обстоятельство, что уже самая незначительная неравномѣрность хода, въ особенности, если не пользуются аккумуляторами, дѣлается замѣтной въ видѣ колебанiй въ силѣ свѣта лампъ накаливанiя, привело къ конструкцiи сдвоеннаго двигателя (рис. 920). Онъ состоитъ изъ двухъ, рядомъ лежащихъ ци-

линдровъ съ общимъ кривошипомъ, и распредѣленіе устроено такимъ образомъ, что въ обоихъ поршняхъ взрывы производятся всегда попеременно, такъ что на каждый оборотъ кривошипа приходится по одному взрыву; сдвоенный двигатель работаетъ, такимъ образомъ, какъ двигатель простого дѣйствія. Тотъ же самый результатъ достигается также другимъ способомъ, а именно, если два цилиндра лежатъ одинъ противъ другого по обѣимъ сторонамъ вала съ маховикомъ и ихъ поршневые стержни дѣйствуютъ на общій кривошипъ; такой сдвоенный двигатель и притомъ наибольшій изъ устроенныхъ до сихъ поръ заводомъ газовыхъ двигателей Дейтцъ (на 200 лошадиныхъ силъ) изображенъ на рис. 921. До 1874 г. онъ былъ наибольшимъ газовымъ двигателемъ нѣмецкаго производства; описанный далѣе двигатель въ 200 лошадиныхъ силъ Кёртинга состоитъ изъ двухъ двигателей съ четырьмя рабочими цилиндрами; двигатель же Дейтцъ имѣетъ два 100-сильныхъ цилиндра. Онъ служитъ для приведенія въ дѣйствіе насосовъ городского водопровода въ Базелѣ. Для удовлетворенія дальнѣйшихъ требованій въ равномѣрности хода, предъявляемыхъ къ газовымъ двигателямъ, приводящимъ въ дѣйствіе динамомашины, введено другое регулированіе, при которомъ слѣдуетъ отказаться отъ преимуществъ вышеупомянутаго способа регулированія — возможно большей экономіи въ газѣ. При немъ не прекращаютъ совсѣмъ



922. Вертикальный газовый двигатель братьевъ Кертингъ въ Ганноверѣ.



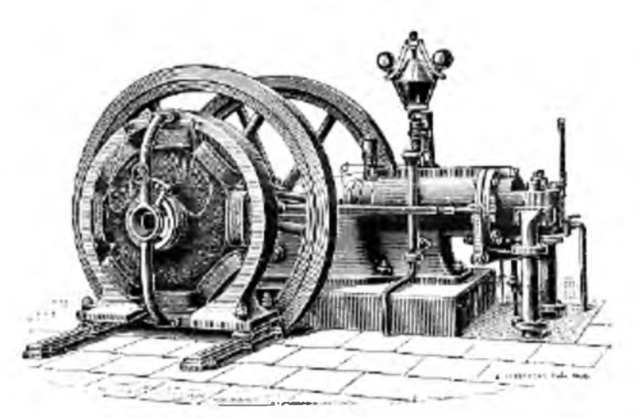
923. Газовый двигатель тандемъ Кертинга.

наполненія цилиндровъ газомъ, а только работаютъ при перемѣнномъ наполненіи, которое непрерывно измѣняется въ зависимости отъ скорости вращенія.

Двигатели Отто имѣли выдающійся успѣхъ не только въ Германіи, но и въ другихъ странахъ; до 1897 г. всего по патенту Дейтцъ выстроено свыше 42 000 двигателей на 170 000 лошадиныхъ силъ.

Большой успѣхъ, выпавшій на долю двигателей Отто, какъ и слѣдовало ожидать, побудилъ многихъ другихъ изобрѣтателей и заводы къ подражаніямъ и новымъ изысканіямъ. Въ теченіи уже многихъ лѣтъ большое число машиностроительныхъ заводовъ успѣшно занимаются постройкой газовыхъ двигателей. Большинство конструкцій точно походятъ на ихъ прототипъ — двигатель Отто; многіе же, въ особенности послѣ того, какъ истекъ срокъ первоначальнаго патента Отто, представляютъ прямо копіи съ его двигателя. Однако, появились и новыя хорошія устройства и прекрасныя новыя конструкціи отдѣльныхъ частей. За весьма небольшими исключеніями у всѣхъ ихъ сохранились три ранѣе упомянутыя главныя основанія: сжатіе газовой смѣси, воспламененіе при мертвой точкѣ и четыре такта.

Изъ 72 заводовъ, занимавшихся въ 1897 г. въ Германіи изготовленіемъ газовыхъ двигателей, слѣдуетъ здѣсь вкратцѣ еще упомянуть о конструкціи Бр. Кертинга въ Ганноверѣ, фирмы, стоящей первою послѣ завода Дейтцъ. Онъ строитъ четырехтактные двигатели Кертинга и Линкфельда. Въ нихъ особенно хороши воспламененіе и регулированіе. Клапанъ, смѣшивающій газъ и воздухъ, такъ устроенъ, что въ любомъ его положеніи отношеніе составныхъ частей смѣси остается тѣмъ же самымъ. Рис. 922 изображаетъ обыкновенный вертикальный двигатель Кертинга. Особое устройство имѣютъ **двигатели тандемъ** Кертинга; они состоятъ, какъ видно по рис. 923, изъ двухъ расположенныхъ одинъ за другимъ горизонтальныхъ рабочихъ цилиндровъ съ проходящими насквозь поршневыми стержнями; работа обоихъ цилиндровъ передается, такимъ образомъ на одинъ кривошипъ.



921. Точная газо-динамомашина Кертинга.

Въ послѣдніе годы газовые двигатели нашли обширное примѣненіе въ особенности для приведенія въ дѣйствіе электрическихъ установокъ, какъ центральныхъ станцій, для обслуживанія всего города, такъ и для небольшихъ станцій и отдѣльныхъ установокъ. Именно при примѣненіи газовыхъ двигателей для электрическаго освѣщенія выступили въ особенности ихъ существенныя преимущества: небольшое занимаемое ими пространство, удобный за ними уходъ, постоянная ихъ готовность къ работѣ. Динамомашины приводятся въ дѣйствіе газовыми двигателями или при посредствѣ ременной передачи, или непосредственнымъ соединеніемъ; спеціально для работы съ небольшими динамомашинами въ послѣднее время заводъ Дейтцъ строитъ быстроходные вертикальные газовые двигатели. Изъ названнаго завода до 1897 г. было выпущено для работы съ динамомашинами около 1700 двигателей приблизительно на 20 000 лошадиныхъ силъ и притомъ около половины ихъ въ теченіе послѣднихъ пяти лѣтъ.

Прекрасно также устроены точные двигатели Кёртинга для работы съ динамомашинами, какъ при помощи ременной передачи при быстромъ ходѣ послѣднихъ, такъ и для непосредственнаго соединенія съ медленно идущими динамомашинами; въ особенности эти послѣдніе двигатели конструированы вполнѣ правильно и занимаютъ мало мѣста. Рис. 924 представляетъ такъ называемую **газо-динамомашину**; въ ней арматура, предназначенной на

большое число оборотовъ, динамомашины насажена непосредственно на горизонтальный валъ точнаго газоваго двигателя, и динамомашина благодаря этому представляетъ съ газовымъ двигателемъ одно цѣлое; все устроено очень просто и компактно. Дальнѣйшія существенныя преимущества представляютъ обезпеченность въ работѣ, большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, который достигается благодаря отсутствію подвижныхъ сцѣпленій (передачъ) между двигателемъ и динамомашиной.

На сѣверо-германской торгово-промышленной выставкѣ въ Любекѣ 1895 года обратилъ на себя всеобщее вниманіе, какъ техниковъ, такъ и публики, 200-сильный совмѣстный газовый двигатель съ динамомашиной Кёртинга, доставлявшій всю электрическую энергію на выставкѣ и питавшій 166 дуговыхъ лампъ, 800 лампъ накаливанія и нѣсколько двигателей. Это былъ газовый двигатель двойной тандемъ съ динамомашиной; онъ былъ самымъ большимъ газовымъ двигателемъ изъ всѣхъ, бывшихъ до того времени на работѣ въ Германіи. Двигатель былъ комбинированъ изъ двухъ расположенныхъ одинъ за другимъ по одну сторону вала горизонтальныхъ двигателей тандемъ, какъ изображено на рис. 923, съ общимъ кривошипомъ и валомъ; динамомашины были расположены, какъ показано на рис. 924; регулированіе производилось перемѣннымъ наполненіемъ цилиндровъ газомъ, такъ что взрывы слѣдовали непосредственно одинъ за другимъ безъ пропусковъ. Далѣе, возможно было, смотря по степени нагрузки, заставлять работать по желанію одинъ, два, три или всѣ четыре цилиндра, запирая притокъ газа въ одинъ или нѣсколько цилиндровъ, причемъ соотвѣтственные поршни ходили въ пустую. Такимъ способомъ двигатель возможно было приспособлять къ самымъ разнообразнымъ требованіямъ, отъ четверти до полной нагрузки, причемъ отдача его остается приблизительно одинаковой, такъ какъ нагрузка каждаго отдѣльнаго цилиндра остается приблизительно постоянной и онъ работаетъ такимъ образомъ постоянно экономичнымъ образомъ. Степень равномѣрности хода при всѣхъ этихъ разнообразныхъ измѣненіяхъ такова, что онъ былъ вполнѣ пригоденъ для работъ съ динамомашинами и нельзя было замѣтить никакихъ колебаній на вольтметрѣ.

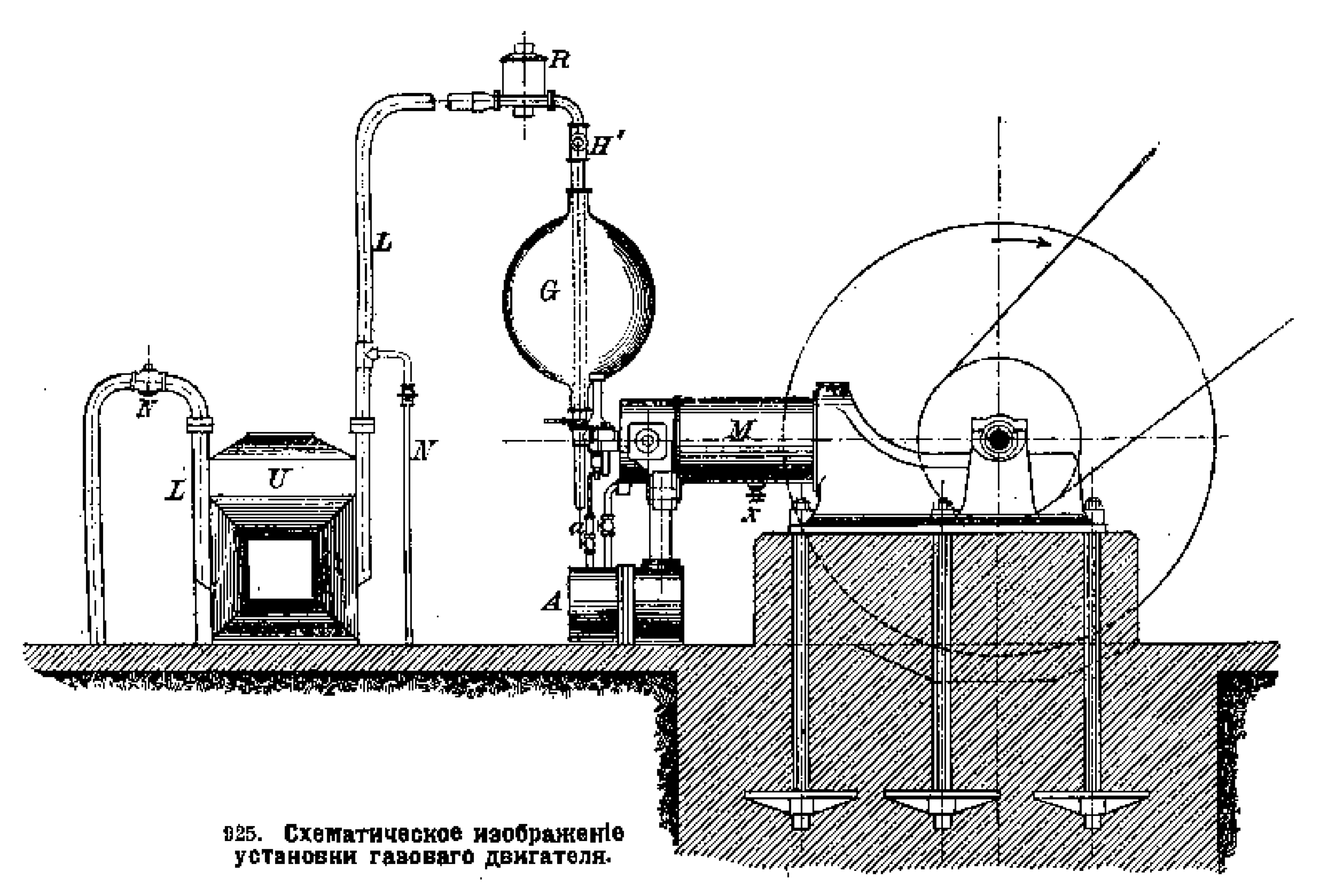
Просто и хорошо устроено приспособленіе для пуска въ ходъ двигателя. Газовые двигатели, какъ еще далѣе будетъ указано, не идутъ въ ходъ сами собою; наоборотъ, ихъ надо сперва пустить въ ходъ, прилагая извнѣ усиліе. При сколько-нибудь большихъ двигателяхъ невозможно „разогнать“ двигатель въ-ручную. Въ описываемомъ 200-сильномъ двигателѣ пускъ въ ходъ производится при помощи сжатаго воздуха. Посредствомъ особаго небольшого двигателя, работающаго на нагнетательный насосъ, сжимается воздухъ въ особомъ резервуарѣ. Этотъ резервуаръ, посредствомъ трубопровода сообщается въ рабочій цилиндръ, гдѣ онъ давитъ на поршень и приводитъ въ движеніе двигатель. Съ обѣихъ сторонъ вала съ кривошипомъ установлено по одной динамомашинѣ постояннаго тока; онѣ включались параллельно, такъ какъ сѣть на выставкѣ питалась постояннымъ токомъ въ 110 вольтъ; каждая динамомашина доставляла при 110 вольтахъ до 600 амперъ.

Соединеніемъ обѣихъ динамомашинъ послѣдовательно возможно получать токъ въ 220 вольтъ для трехпроводной сѣти.

Расходъ газа въ двигателѣ достигалъ до 500 литровъ на эффективную лошадиную силу въ часъ и такъ какъ одной лошадиной силѣ соотвѣтствуетъ двѣнадцать 16-свѣчныхъ лампъ накаливанія, то при полной нагрузкѣ на одну лампу накаливанія расходуется въ часъ 40—45 литровъ газа.

Небольшія станціи съ газовыми двигателями для электрическаго освѣщенія городовъ. Тогда какъ до недавняго времени для сколько-нибудь большихъ городовъ считались имѣющими право на существованіе и технически и экономически выгодными только большія электрическія центральныя станціи съ паровой движущей силой и съ большою сѣтью проводовъ, въ новѣйшее время часто защищается тотъ взглядъ, что въ сравненіи съ этими большими центральными станціями имѣетъ большую будущность устройство въ городахъ отдѣльныхъ установокъ, небольшихъ станцій съ газовыми двигателями; при ближайшемъ разсмотрѣніи всѣхъ условій, принимая во вниманіе опыты, сдѣланные до сихъ поръ центральными электрическими станціями, мнѣніе это конечно имѣетъ нѣкоторыя основанія. Большія центральныя электрическія станціи требуютъ съ самаго начала за-

траты большого капитала, идущаго по большей части на большую сѣть проводовъ; въ особенности послѣдняя съ самаго начала должна быть уложена значительно большею и болѣе сильною, чѣмъ это соотвѣтствуетъ потребности на цѣлый рядъ лѣтъ. Вслѣдствіе сильнаго обремененія процентами и амортизаціонными расходами устройство въ теченіи долгихъ лѣтъ работаетъ не экономично. Цѣлый рядъ нѣмецкихъ городскихъ электрическихъ установокъ годами не въ состояніи покрывать проценты на капиталъ и соотвѣтствующія погашенія. Благодаря небольшимъ станціямъ съ газовыми двигателями при пользованіи городскимъ свѣтильнымъ газомъ является средство при затратѣ не слишкомъ большого капитала снабжать электрическимъ свѣтомъ сообразно потребности главнѣйшіе участки города, въ особенности послѣ введенія большихъ усовершенствованій въ газовые двигатели, служащіе для



925. Схематическое изображеніе установки газоваго двигателя.

работы на динамомашины. Что электрическія установки съ газовыми двигателями жизнеспособнѣе съ экономической точки зрѣнія центральныхъ установокъ, доказываетъ существованіе и возникновеніе большого числа новыхъ подобныхъ установокъ въ городахъ, обладающихъ уже долгое время центральными электрическими станціями.

Другія системы газовыхъ двигателей. Большинство современныхъ газовыхъ двигателей работаютъ, какъ уже упомянуто, на четыре такта; въ нѣкоторыхъ новыхъ конструкціяхъ пробовали отступать отъ этого принципа. Въ Англіи были конструированы двигатели, работавшіе въ шесть тактовъ; послѣ четырехъ ходовъ четырехтактнаго двигателя поршень совершаетъ еще ходъ впередъ и назадъ, причемъ всасывается только воздухъ и вмѣстѣ съ нимъ изъ цилиндра вытѣсняются оставшіеся въ пространствѣ для газовой смѣси послѣ четвертаго хода газообразные продукты горѣнія. Вслѣдствіе этого послѣ шестого хода поршня въ пространствѣ для газовой смѣси остается главнымъ образомъ воздухъ съ небольшимъ количествомъ газообразныхъ продуктовъ горѣнія. Но такъ какъ послѣдніе, даже и въ томъ количествѣ, въ какомъ они остаются послѣ четырехъ ходовъ поршня, судя

по опытнымъ даннымъ, не вредятъ, то эта конструкція врядъ ли можетъ считаться шагамъ впередъ. Въ шеститактномъ газовомъ двигателѣ **Гриффона** работаютъ обѣ стороны поршня въ шесть тактовъ, такъ что при каждомъ шестомъ ходѣ съ каждой стороны или вообще при каждомъ третьемъ происходитъ одинъ взрывъ. Конечно можно было бы такимъ же образомъ заставить и четырехтактный двигатель работать на обѣ стороны поршня, причемъ на четыре хода поршня или на два оборота приходилось бы два взрыва; однако до сихъ поръ ограничиваются работой на одной сторонѣ изъ-за опасенія слишкомъ большого разогрѣванія стѣнокъ цилиндра. Нѣкоторые англійскія и нѣмецкія конструкціи работаютъ въ **два такта**; тамъ два цилиндра, одинъ рабочій, и другой, представляющій особый насосъ; послѣдній всасываетъ газовую смѣсь и вгоняетъ ее въ рабочій цилиндръ, гдѣ при каждомъ ходѣ поршня въ одну сторону происходитъ взрывъ, тогда какъ при обратномъ ходѣ вытѣсняются поршнемъ газообразные продукты горѣнія.

Общее расположеніе установки съ газовымъ двигателемъ представлено схематически на рис. 925. Двигатель M укрѣпленъ на каменномъ фундаментѣ при помощи болтовъ съ закладными шайбами; LL газопроводная труба, въ которую включенъ газовый счетчикъ U. Передъ нимъ находится главный газовый кранъ N. Такъ какъ при каждомъ всасываніи двигатель беретъ сравнительно большое количество газа и затѣмъ опять вдругъ совсѣмъ прекращаетъ его впускъ, то въ газопроводѣ на значительныхъ разстояніяхъ происходятъ колебанія въ давленіи, вслѣдствіе чего находящіяся по близости газовыя горѣлки могутъ начать мигать; чтобы уменьшить это миганіе, въ газопроводъ вблизи двигателя включаютъ резиновый мѣшокъ; въ немъ собирается изъ газопровода запасъ газа, которымъ и питается двигатель при всасываніи. Если нельзя устранить миганія посредствомъ одного резиноваго мѣшка, то включаютъ другой; въ послѣднее время часто примѣняются также регуляторы давленія; на рис. R изображаетъ регуляторъ давленія. H' второй запорный газовый кранъ; до него и до резиноваго мѣшка и регулятора отвѣтвляется небольшая труба N для питанія пламени, служащая для воспламененія газовой смѣси. Черезъ трубу a изъ горшка A всасывается атмосферный воздухъ для смѣшиванія съ газомъ; горшокъ имѣетъ цѣлью ослабить шумъ при всасываніи. Подъ цилиндромъ находится въ его оболочкѣ небольшой выпускной кранъ x для выпуска зимою во время бездѣйствія двигателя воды изъ оболочки цилиндра. У всѣхъ газовыхъ двигателей рабочій цилиндръ окруженъ оболочкой. Въ промежуточное пространство непрерывно пропускается холодная вода, которая охлаждаетъ цилиндръ и затѣмъ стекаетъ. При большихъ двигателяхъ расходъ воды для охлажденія значителенъ; если для этой цѣли не имѣется достаточнаго количества воды, или пользованіе водою изъ водопроводовъ обходится слишкомъ дорого, можно вытекающую изъ оболочки цилиндра воду, нагрѣтую приблизительно до 70° Ц., снова охлаждать и снова ею пользоваться, такъ что при этомъ черезъ оболочку цилиндра и холодильника постоянно будетъ циркулировать одно и то же количество воды. Братья Кертингъ уже много лѣтъ успѣшно примѣняютъ для этой цѣли въ своихъ двигателяхъ реберчатые холодильники.

Для пуска въ ходъ газоваго двигателя, спеціально двигателя въ четыре такта, первоначально внѣшнею силою слѣдуетъ настолько разогнать маховое колесо съ кривошипомъ, чтобы поршень произвелъ всасываніе газовой смѣси и послѣдующее затѣмъ сжатіе, съ тѣмъ, чтобы могъ произойти первый взрывъ. Въ небольшихъ двигателяхъ этого возможно достигнуть вращеніемъ маховика рукою; для того, чтобы при этомъ не приводить во вращеніе трансмиссіи, ее передъ этимъ отцѣпляютъ. При большихъ двигателяхъ употребляютъ особыя приспособленія для пуска въ ходъ; при очень большихъ двигателяхъ часто устанавливаютъ вмѣстѣ съ ними особые небольшіе

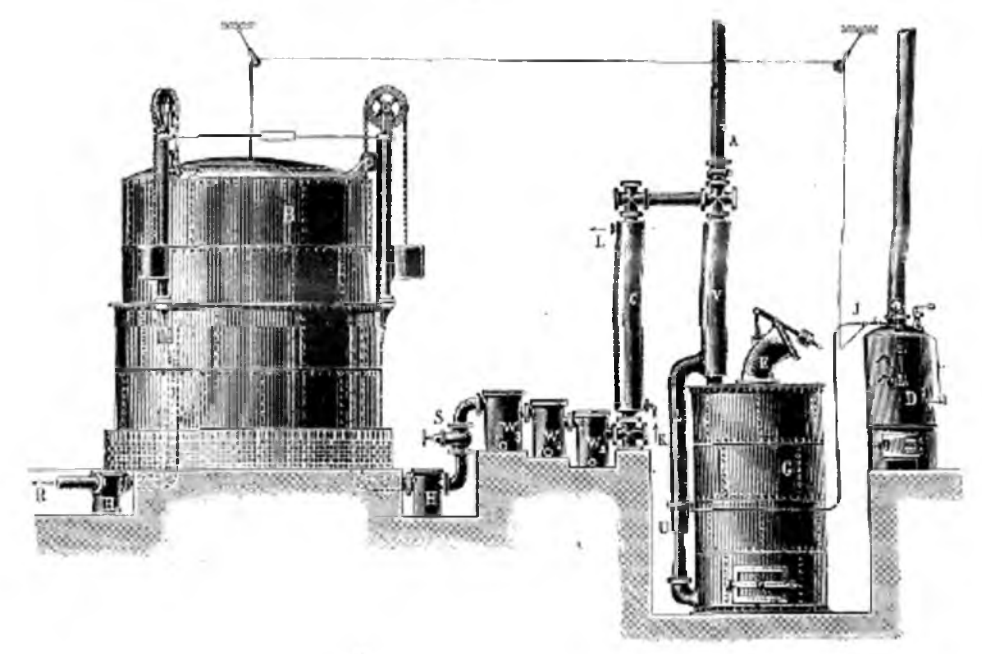
двигатели, все назначеніе которыхъ заключается только въ пусканіи въ ходъ большого двигателя.

Газовые двигатели въ сравненіи съ паровыми машинами. Работа съ современными газовыми двигателями крайне удобна; нѣтъ ни котла, ни топки, нѣтъ особенно большого смазыванія, какъ при старыхъ двигателяхъ; отсутствіе шума, большая чистота, небольшое занимаемое ими мѣсто и всегдашняя готовность ихъ къ работѣ; вслѣдствіе всѣхъ этихъ свойствъ газовые двигатели какъ въ настоящее время, такъ и для ближайшаго будущаго являются лучшими двигателями для небольшихъ и средней величины установокъ, въ особенности для мелкой промышленности. Расходъ газа въ современныхъ хорошихъ газовыхъ двигателяхъ, каковыми они, кромѣ двухъ ранѣе упомянутыхъ фирмъ, строятся также многочисленными другими заводами, доходитъ при небольшихъ двигателяхъ до 700—900 литровъ въ часъ на эффективную лошадиную силу, для среднихъ и большихъ, напр. для двигателей Дейтцъ и бр. Кёртингъ онъ падаетъ по точнымъ и неоспоримымъ измѣреніямъ ниже 500 литровъ. При 500 литрахъ и при средней теплотворной способности каменноугольнаго газа въ 5200 калорій на куб. метръ это соотвѣтствуетъ утилизаціи теплоты горѣнія или термическому коэффиціенту полезнаго дѣйствія приблизительно въ 25%. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія газовыхъ двигателей поэтому значительно выше коэффиціента полезнаго дѣйствія паровыхъ машинъ, и если бы оба наиболѣе важные сорта топлива для калорическихъ машинъ, каменноугольный газъ и уголь, по своей теплотворной способности приблизительно были бы одинаковы, то газовые двигатели для большинства примѣненій скоро вытѣснили бы паровыя машины. Въ неравенствѣ цѣнъ газа и каменнаго угля лежитъ причина того, что вообще на большія мощности паровыя машины, несмотря на ихъ гораздо меньшій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, предпочитаются въ экономическомъ отношеніи газовымъ двигателямъ.

Тогда какъ паровыя машины, какъ указано выше, по крайней мѣрѣ при теперешнемъ ихъ принципѣ дѣйствія и при примѣненіи обыкновеннаго, не перегрѣтаго водяного пара, едва ли могутъ быть въ дальнѣйшемъ значительно усовершенствованы, значительное дальнѣйшее усовершенствованіе газовыхъ двигателей не только мыслимо, но его, повидимому, вполнѣ можно ожидать. Надъ этимъ вопросомъ непрерывно работаютъ выдающіеся спеціалисты и притомъ съ хорошимъ результатомъ; главнѣйшій недостатокъ до настоящаго времени заключается въ томъ, что развивающаяся при сгораніи горючихъ газовъ энергія вообще не вполнѣ утилизируется, такъ какъ газы расширяются только до извѣстной степени и при обратномъ ходѣ поршня вытѣсняются при сравнительно еще большомъ давленіи; велики также потери тепла и энергіи при неизбѣжномъ охлажденіи стѣнокъ цилиндра. Многократно дѣлались предложенія и попытки устроить двигатель компаундъ, въ которомъ, подобно тому, какъ и въ паровой машинѣ компаундъ, газообразные продукты горѣнія послѣ расширенія отчасти въ первомъ рабочемъ цилиндрѣ переводились бы во второй цилиндръ низкаго давленія, въ которомъ утилизировалось бы дальнѣйшее ихъ расширеніе. Осуществленію этой мысли мѣшаютъ большія практическія затрудненія, преодолѣть которыя до сихъ поръ еще не удалось. По мнѣнію выдающихся спеціалистовъ, возможно повысить утилизацію тепла газовъ до 40%, такъ что на рабочую силу потребовался бы расходъ газа всего въ 300 литровъ въ часъ. При этомъ расходы по эксплоатаціи понизились бы настолько, что газовые двигатели могли бы конкурировать съ большими паровыми машинами.

Работа двигателей съ генераторнымъ газомъ (газомъ Довсона). Для того, чтобы возможно было примѣнять газовые двигатели тамъ, гдѣ нѣтъ свѣтильнаго газа, и сдѣлать ихъ независимыми отъ городскихъ

газовыхъ установокъ, точно также для удешевленія работы при слишкомъ высокихъ цѣнахъ на газъ и для облегченія примѣненія ихъ въ промышленности въ качествѣ двигателей большой мощности, съ нѣкотораго времени прилагаютъ старанія къ отысканію простого способа полученія дешеваго газа. Для полученія энергіи пригодны, кромѣ каменноугольнаго (свѣтильнаго) газа, также водородный газъ и генераторный газъ. Полученіе перваго въ небольшихъ размѣрахъ для отдѣльныхъ небольшихъ установокъ слишкомъ сложно и требуетъ очень большихъ приспособленій. Для большихъ установокъ наоборотъ полученіе водороднаго газа примѣняется въ широкихъ размѣрахъ, напр. въ Америкѣ, гдѣ главный сырой матеріалъ для его полученія — антрацитъ — дешевъ. Для отдѣльныхъ небольшихъ установокъ гораздо болѣе примѣнимъ генераторный газъ. Въ особенности просто



926. Схематическое изображеніе небольшой установки для полученія генераторнаго газа.

устройство, изобрѣтенное для полученія его англичаниномъ Довсономъ. Газъ Довсона получается изъ антрацита или кокса при пропусканіи перегрѣтаго пара и воздуха надъ раскаленнымъ топливомъ; при этомъ при сгораніи углерода сперва получается углекислота, переводимая при дальнѣйшемъ прохожденіи надъ раскаленнымъ топливомъ въ окись углерода; водяной паръ разлагается и получающійся газъ имѣетъ приблизительно слѣдующій составъ: водорода 14—18%, окиси углерода 20—24%, различныхъ углеводородовъ 0—4%, углекислоты 5—8% и остальные 61—64% азота (изъ воздуха). Газъ этотъ содержитъ такимъ образомъ около 40% горючаго газа, развивающаго при совершенномъ сгораніи немного болѣе 1300 единицъ тепла; газъ Довсона обладаетъ теплотворною способностью почти въ четыре раза меньше, чѣмъ хорошій свѣтильный газъ.

Рис. 926 представляетъ схематически установку, питаемую генераторнымъ газомъ (газомъ Довсона), въ томъ видѣ, какъ она устраивается бр. Кертингъ (также и заводомъ Дейтцъ). Вертикальная печь или генераторъ *G* черезъ приспособленіе для наполненія его *E*, закрывающееся при работѣ крышкой с посредствомъ рычага и противовѣса, засыпается сверху развивающимъ газъ топливомъ

(антрацитъ или коксъ); снизу черезъ колосники при помощи пароструйнаго вентилятора U вдувается перегрѣтый паръ изъ небольшого вертикальнаго парового котла D и вмѣстѣ съ нимъ воздухъ; находящаяся спереди подъ колосниками дверца генератора (служащая для чистки) во время его работы плотно прикрывается: водяной паръ, смѣшанный съ воздухомъ, протекаетъ такимъ образомъ надъ верхнимъ слоемъ накаленнаго топлива. Для пуска въ ходъ сперва слѣдуетъ разогрѣть и довести до сильнаго каленія содержимое генератора; получаемый за это время менѣе цѣнный газъ удаляется черезъ трубу A; затѣмъ кранъ въ этой трубѣ закрывается. При дальнѣйшей работѣ топливо остается сильно раскаленнымъ, благодаря непрерывному притоку воздуха. Развивающійся въ генераторѣ газъ сперва протекаетъ черезъ воздушный охладитель V съ токомъ воздуха въ противоположномъ направленіи; газопроводная труба окружена оболочкой — трубой и черезъ промежуточное между ними пространство проходитъ всасываемый пароструйнымъ вентиляторомъ U воздухъ, благодаря чему онъ подогрѣвается. Необходимое дальнѣйшее охлажденіе производится водянымъ холодильникомъ C съ протокомъ воды въ направленія, обратномъ потоку газа; газъ проходитъ внутреннюю трубу сверху внизъ, тогда какъ въ окружающей эту трубу оболочкѣ находится вода, впускаемая внизу въ K и стекающая вверху въ Z. Послѣ этого газъ проходитъ черезъ нѣсколько промывныхъ и очистительныхъ приборовъ W_1, W_2, W_3, гдѣ онъ освобождается отъ смолистыхъ составныхъ частей настолько, насколько это требуется для работы съ двигателями, и переходитъ черезъ запорный кранъ S и водяной горшокъ H въ газгольдеръ B, изъ котораго по трубамъ R подводится къ отдѣльнымъ мѣстамъ потребленія. Водяные горшки (сифоны) H и H_1 предназначены для собиранія выдѣляющейся изъ газа воды; вода изъ нихъ время отъ времени выкачивается. Для того, чтобы образованіе газа соотвѣтствовало его расходу, по наполненіи газгольдера автоматически колоколомъ газгольдера, соединеннымъ цѣпью, перекинутою черезъ блоки, съ паровымъ клапаномъ, послѣдній или отчасти или совсѣмъ закрывается, благодаря чему уменьшается или совсѣмъ прекращается образованіе газа до тѣхъ поръ, пока опусканіемъ колокола газгольдера опять не откроется паровой клапанъ.

Посредствомъ прибора для добыванія газа Довсона изъ 1 кгр. генераторнаго угля съ теплотворною способностью въ 7000 единицъ тепла развивается около $4\frac{1}{2}$ куб. м. газа теплотворной способности въ 1300 калорій, теплотворная способность угля при этомъ утилизируется до 80—82%. Газовые двигатели средней величины лучшихъ конструкцій въ соединеніи съ такимъ приборомъ для полученія газа Довсона расходуютъ на одну лошадиную силу въ 0,8—1 кгр. топлива. Вслѣдствіе меньшей теплотворной способности генераторнаго газа, сравнительно со свѣтильнымъ, мощность газовыхъ двигателей при работѣ съ первымъ меньше, чѣмъ съ послѣднимъ; вслѣдствіе этого въ первомъ случаѣ работаютъ съ болѣе энергичными смѣсями газа и на одну и ту же мощность первые двигатели конструируются большими по размѣрамъ. Вышеупомянутый 200 сильный двигатель Дейтца Базельскаго водопровода приспособленъ и для работы съ газомъ Довсона; при работѣ съ нимъ онъ развиваетъ 160 лошадиныхъ силъ.

Бензиновые и керосиновые двигатели.

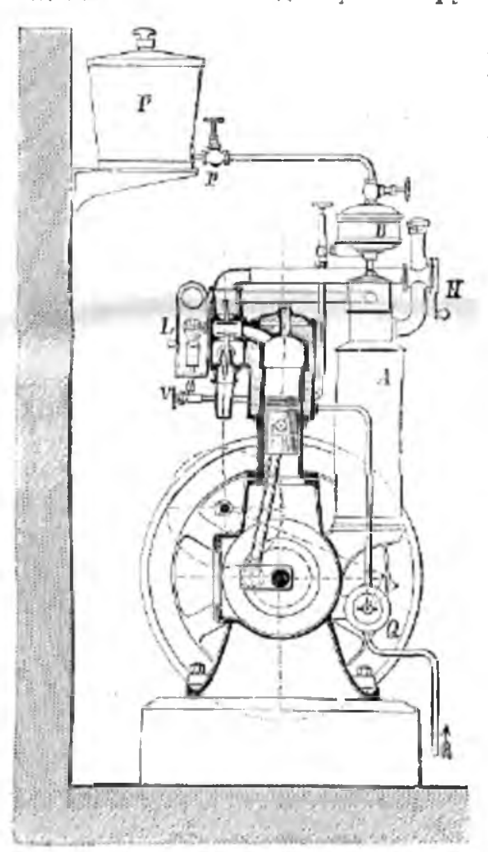
При разнообразіи примѣненія и большомъ успѣхѣ, сопровождавшемъ газовые двигатели, явилось стремленіе сдѣлать ихъ независимыми отъ существованія центральныхъ газовыхъ устройствъ, найти средство для примѣненія ихъ въ любомъ мѣстѣ. Это стремленіе привело къ примѣненію для работы съ газовыми двигателями жидкихъ углеводовъ. Къ послѣднимъ относятся съ одной стороны легкіе и легкоподвижные углеводороды (уд. вѣса въ 0,7 и менѣе), какъ напр., бензинъ, газолинъ и тому подобные, съ другой стороны — и обыкновенный тяжелый керосинъ; послѣдній трудно испаряется и труднѣе воспламеняется, вслѣдствіе чего при примѣненіи представляетъ бо́льшія затрудненія, но въ то же время и менѣе огнеопасенъ. Всѣ двигатели, работающіе съ этими веществами, почти не отличаются въ основныхъ чертахъ отъ газовыхъ двигателей. Вмѣсто свѣтильнаго газа здѣсь пользуются газомъ, получаемымъ изъ бензина или керосина. При примѣненіи перваго воздухъ

по трубѣ съ лейкообразнымъ наконечникомъ проводится черезъ сосудъ съ бензиномъ; сѣтка погружена въ бензинъ и воздухъ долженъ проходить черезъ бензинъ мелкими пузырьками; при этомъ онъ насыщается парами бензина, такъ что при дальнѣйшемъ смѣшиваніи съ воздухомъ получается взрывчатая газовая смѣсь. Керосинъ, по распыленіи его, смѣшивается съ воздухомъ, но вслѣдствіе трудной испаряемости получается при этомъ не газообразнымъ, но въ видѣ облака, состоящаго изъ большого числа небольшихъ капелекъ или пузырьковъ керосина; вслѣдствіе этого вся масса сперва проводится еще надъ нагрѣтыми металлическими поверхностями; при этомъ керосинъ переходитъ въ паръ и въ смѣси съ соотвѣтственнымъ количествомъ воздуха образуетъ газовую смѣсь, дѣйствующую въ двигателѣ такимъ же образомъ, какъ и смѣсь со свѣтильнымъ газомъ.

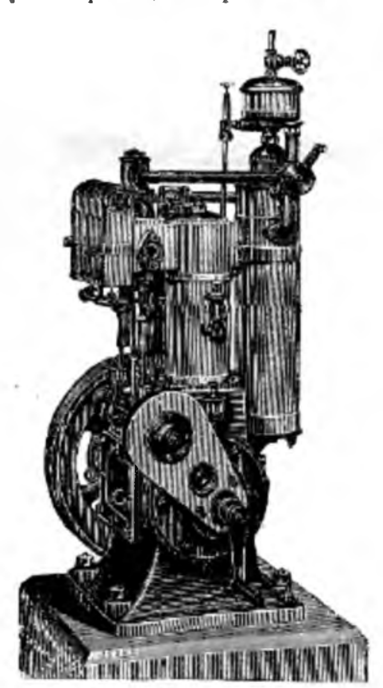
Конструкція новыхъ керосиновыхъ и бензиновыхъ двигателей подобна конструкціи газовыхъ двигателей; газовые двигатели большинства заводовъ послѣ небольшихъ измѣненій могутъ быть приспособлены для работы съ керосиномъ и т. д.; при этомъ мѣняется только подводъ газа и приспособленіе для зажиганія и прибавляется приборъ для полученія паровъ бензина или керосина.

Самые первые опыты съ такими двигателями были произведены, повидимому, въ Америкѣ; въ Европѣ двигатели эти стали извѣстными по первымъ, такъ называемымъ, керосиновымъ двигателямъ Гока въ Вѣнѣ въ 1873 году, т. е. значительно раньше появленія новаго двигателя Отто; ранѣе же его появленія они опять уже исчезли и были почти забыты. Названіе керосиновыхъ двигателей для этой и позднѣйшихъ конструкцій неправильно, такъ какъ въ дѣйствительности они могли идти не съ керосиномъ, а съ болѣе легкими углеводородами, какъ напр., бензиномъ, газолиномъ, лигроиномъ и т. п.; настоящіе керосиновые двигатели, работающіе обыкновеннымъ керосиномъ, появились около середины девятидесятыхъ годовъ. Около конца семидесятыхъ годовъ, послѣ появленія газовыхъ двигателей Дейтцъ прямого дѣйствія, считали, что въ появлявшихся тогда приборахъ для полученія газа найдено средство сдѣлать газовые двигатели независимыми отъ городской газовой сѣти. Въ этихъ приборахъ пользовались ранѣе упомянутою способностью воздуха образовать съ парами легкихъ углеводородовъ горящую свѣтящимся пламенемъ смѣсь, напр., пропуская воздухъ черезъ пропитанную бензиномъ шерсть. Скоро, однако, выяснилась недопустимость и большая опасность въ пожарномъ отношеніи подобныхъ приборовъ и техники вновь обратились къ конструированію двигателей, въ которыхъ было бы возможно непосредственное пользованіе бензиномъ. Около начала восьмидесятыхъ годовъ большинству заводовъ газовыхъ двигателей удалось построить такіе двигатели. Въ теченіе долгаго времени эти двигатели обладали нѣкоторыми недостатками; они были ненадежны въ работѣ, часто безъ видимыхъ поводовъ останавливались и въ высшей степени были опасны въ пожарномъ отношеніи. Въ послѣднее время двигатели эти значительно улучшены, въ особенности въ значительной степени уменьшена опасность въ пожарномъ отношеніи въ лучшихъ и хорошаго устройства двигателяхъ. Въ бензиновыхъ двигателяхъ, чтобы не было по близости никакого пламени, часто примѣняютъ въ рабочемъ цилиндрѣ электрическое воспламененіе искрою, вмѣсто воспламененія пламенемъ; далѣе, резервуаръ съ запасомъ бензина и приборъ для испаренія его устанавливаются въ особомъ помѣщеніи, внѣ помѣщенія для двигателя и въ которомъ не имѣется никакого огня. Резервуаръ съ бензиномъ устраиваютъ въ видѣ вполнѣ плотныхъ (не дающихъ течи бензина и его паровъ) желѣзныхъ бочекъ; посредствомъ небольшого насоса перекачивается требуемое количество бензина въ приборъ для испаренія, такъ что бензинъ почти не приходитъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ.

Точно также значительно усовершенствованы керосиновые двигатели и они въ настоящее время являются для промышленности, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ нѣтъ свѣтильнаго газа, удобными, надежными и сравнительно дешевыми и безопасными двигателями. Керосинъ, служащій для работы двигателя, помѣщается у самаго двигателя въ плотно закрытомъ желѣзномъ сосудѣ: передъ входомъ въ цилиндръ онъ превращается въ паръ и въ виду этого двигатель передъ пускомъ его въ ходъ долженъ быть нагрѣтъ. Воспламененіе производится накаленной до красна трубкой, для разогрѣванія которой примѣняется тотъ же керосинъ. Какъ и газовые двигатели, керосиновые двигатели снабжены регуляторами скорости, которые, съ одной стороны, уравниваютъ ходъ двигателя, съ другой стороны, регулируютъ расходъ керосина въ зависимости отъ производимой двигателемъ работы. Тамъ, гдѣ имѣется газъ, слѣдуетъ, вообще говоря, предпочесть газовые двигатели. При нихъ гораздо проще пользоваться уже готовымъ газомъ, въ особенности при пусканіи въ ходъ, и кромѣ того отпадаютъ заботы о пріобрѣтеніи, храненіи и наполненіи топливомъ двигателя.



937. Поперечное сѣченіе бензиноваго двигателя Даймлера.



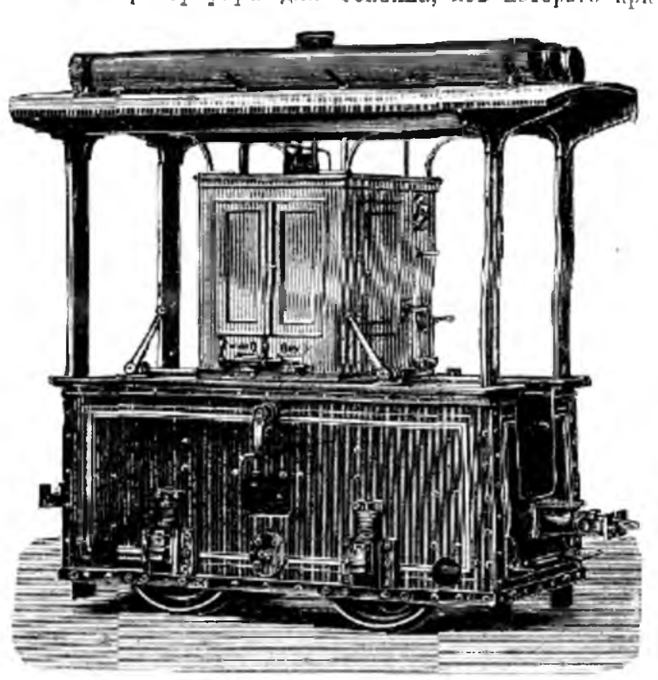
938. Внѣшній видъ бензиноваго двигателя Даймлера.

Что касается до обоихъ видовъ этихъ двигателей, то бензиновые двигатели въ работѣ чище и требуютъ менѣе тщательнаго ухода, чѣмъ керосиновые; въ послѣднихъ же топливо менѣе опасно въ пожарномъ отношеніи и кромѣ того простой продажный керосинъ всегда легче достать.

Расходъ топлива въ этихъ двигателяхъ достигаетъ около $^1/_2$ кгр. въ часъ на эффективную лошадиную силу.

Какъ конструкція, такъ и внѣшній видъ керосиновыхъ и бензиновыхъ двигателей большинства заводовъ почти такіе же, какъ и газовыхъ двигате-

лей соотвѣтствующихъ заводовъ; ихъ строятъ какъ вертикальными, такъ и горизонтальными, обыкновенно на 1—12 лошадиныхъ силъ. Къ первымъ изобрѣтателямъ такихъ двигателей въ Германіи принадлежитъ инженеръ Г. Даймлеръ въ Каннштадтѣ; двигатели его конструкціи уже давно строятся обществомъ двигателей Даймлера въ Каннштадтѣ. Эти двигатели, какъ и двигатели Дейтцъ, Кертингъ и др., могутъ работать также въ качествѣ газовыхъ двигателей. Двигатели этой фирмы въ особенности хорошо разработаны для примѣненія въ качествѣ бензиновыхъ двигателей для самыхъ разнообразныхъ цѣлей. Конструкція обыкновеннаго вертикальнаго двигателя Даймлера для промышленныхъ цѣлей изображена на рис. 927. Рис. 928 даетъ внѣшній видъ его. *P* — резервуаръ для бензина, изъ котораго при помощи запорнаго клапана *p* черезъ трубу пропускается столько бензина къ прибору для испаренія его *AB*, что *A* всегда остается наполненнымъ приблизительно на $^2/_3$, до нѣкоторой мѣтки. *B* — лампа, которая заполняется первою, до перехода бензина въ *A*. Изъ лампы *B* черезъ трубку съ клапаномъ *V* бензинъ подводится къ горѣлкѣ, находящейся въ оболочкѣ *L*; онъ вытекаетъ тонкой струей изъ узкаго наконечника горѣлки и, благодаря высокой температурѣ горѣлки и оболочки ея во время дѣйствія горѣлки, сейчасъ же переходитъ въ паръ; пламя горитъ вокругъ платиноваго зажигателя и накаливаетъ его. Въ приборѣ для испаренія *A* пары образуются при просасываніи черезъ бензинъ подогрѣтаго воздуха; пары эти еще разъ смѣшиваются съ воздухомъ въ регулировочномъ кранѣ *H* и такимъ образомъ получается горючая газовая смѣсь. При ходѣ поршня внизъ рабочій поршень всасываетъ эту смѣсь, при обратномъ ходѣ сжимаетъ ее въ пространствѣ, предназначенномъ для сжатія газовой смѣси (оно видно на рисункѣ). При нахожденіи поршня вверху, т.-е. въ мертвой точкѣ, распредѣлительнымъ механизмомъ устанавливается сообщеніе съ накаленнымъ платиновымъ зажигателемъ, зарядъ взрываетъ и газообразные продукты горѣнія работаютъ расширеніемъ и давленіемъ на поршень. Для образованія паровъ бензина, какъ уже упомянуто, воздухъ долженъ быть предварительно подогрѣтъ; это достигается тѣмъ, что воздухъ передъ поступленіемъ въ испаритель проходитъ черезъ кожухъ горѣлки, гдѣ отнимаетъ излишекъ тепла отъ горѣлки; кромѣ того онъ еще протекаетъ черезъ оболочку выпускной трубы.



929. Локомотивъ съ бензиновымъ двигателемъ Даймлера.

Для пуска въ ходъ двигателя по наполненіи бензиномъ *A* и *B* сперва открываютъ кранъ горѣлки *V* и въ теченіи около одной минуты извнѣ нагрѣваютъ трубки горѣлки; этимъ достигается температура, при которой обра-

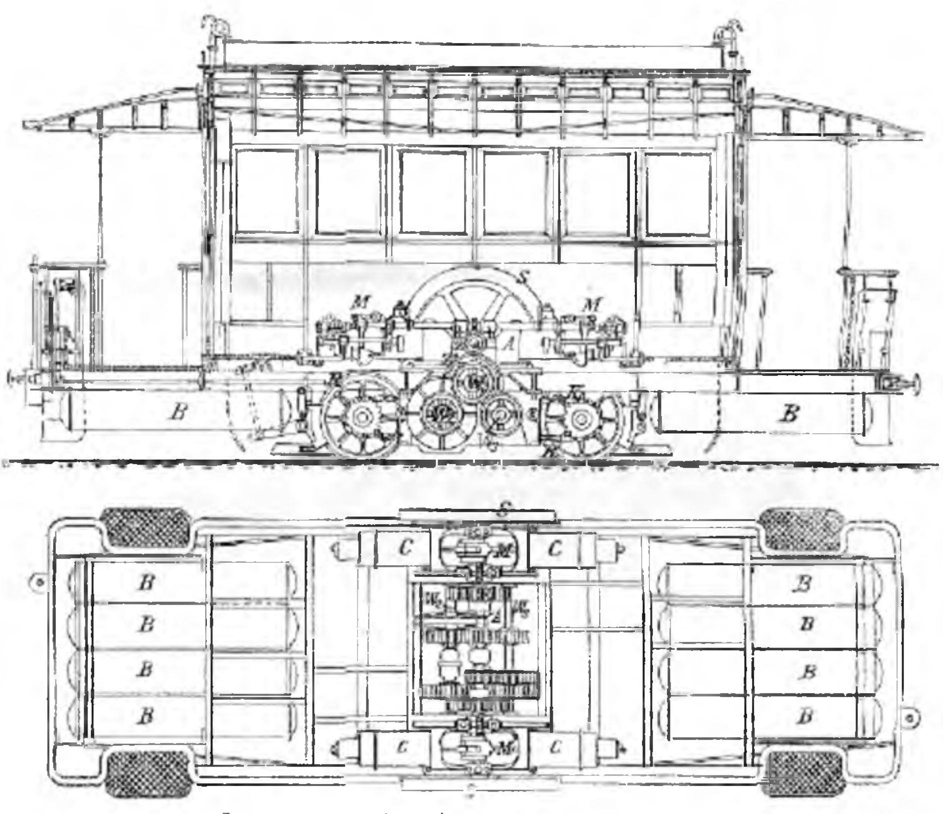
зуются сами собой газы, необходимые для полученія пламени въ горѣлкѣ. Когда зажигатель накалится до красна, открываютъ клапанъ *F* и вращаютъ двигатель въ ручную при помощи особой рукоятки (на рис. она изображена внизу направо); послѣ нѣсколькихъ оборотовъ происходитъ первый взрывъ въ рабочемъ цилиндрѣ, послѣ чего двигатель приходитъ въ движеніе и рукоятка выключается автоматически. Рабочій цилиндръ, какъ и у газовыхъ двигателей, окруженъ оболочкой, черезъ которую протекаетъ вода для охлажденія или изъ водопровода или отъ небольшого насоса *Q*, приводимаго въ дѣйствіе самимъ двигателемъ.

Кромѣ работы на постоянныхъ установкахъ двигатели Даймлера находятъ разнообразныя примѣненія и для другихъ цѣлей. Устраиваютъ передвижные двигатели на тележкахъ, бензиновые локомобили для тѣхъ случаевъ, когда приходится работать не на одномъ мѣстѣ; послѣдніе примѣняются вмѣсто обыкновенныхъ локомобилей тамъ, гдѣ имѣетъ значеніе быстрая готовность двигателя къ работѣ, при частыхъ перерывахъ въ работѣ, напр. для сельско-хозяйственныхъ цѣлей. Такой двигатель можетъ быть приведенъ въ дѣйствіе въ три минуты, тогда какъ обыкновенные локомобили сперва еще необходимо растопить. Даймлеръ былъ также однимъ изъ первыхъ, стремившихся примѣнить газовые или бензиновые двигатели для движенія желѣзнодорожныхъ вагоновъ; въ восьмидесятыхъ годахъ въ Виртембергѣ на Кирхгеймской желѣзной дорогѣ ходилъ пробный вагонъ съ бензиновымъ двигателемъ. На рис. 929 изображенъ Даймлеровскій локомотивъ съ бензиновымъ двигателемъ. Заводъ двигателей Даймлера строилъ съ керосиновыми двигателями и уличные экипажи для перевозки публики, которые, повидимому, до сихъ поръ еще не получили широкаго распространенія.

930. **Новый керосиновый двигатель Отто для катеровъ.**

Керосиновые двигатели въ послѣднее время начали входить въ большое употребленіе для движенія небольшихъ судовъ, паромовъ, и т. д. Часто встрѣчаются теперь катера съ керосиновыми двигателями, напр. они въ большомъ употребленіи въ Гамбургѣ, какъ на рѣкѣ, такъ и въ гавани. Многіе заводы строятъ спеціальные двигатели для этой цѣли; въ заключеніе слѣдуетъ еще упомянуть о новыхъ керосиновыхъ двигателяхъ для катеровъ Отто, изготовляемыхъ заводомъ газовыхъ двигателей Дейтцъ. Весь двигатель со всѣми принадлежностями, какъ напр. испарителями, вы-

пусковымъ горшкомъ, насосомъ для воды для охлажденія, а также съ приспособленіями для перемѣны хода, устанавливается на одной прочной U-образной рамѣ (рис. 930), привинчиваемой непосредственно къ остову катера. Благодаря этому значительно облегчается установка и нѣтъ необходимости собирать отдѣльныя части на самомъ катерѣ. Весь двигатель закрывается соотвѣтственной формы кожухомъ. Чтобы при перемѣнѣ хода катера не приходилось останавливать двигателя, что при этого рода двигателяхъ (а также и при газовыхъ двигателяхъ) потребовало бы не только сложной конструкціи распредѣлительныхъ механизмовъ, но было бы неудобно и въ



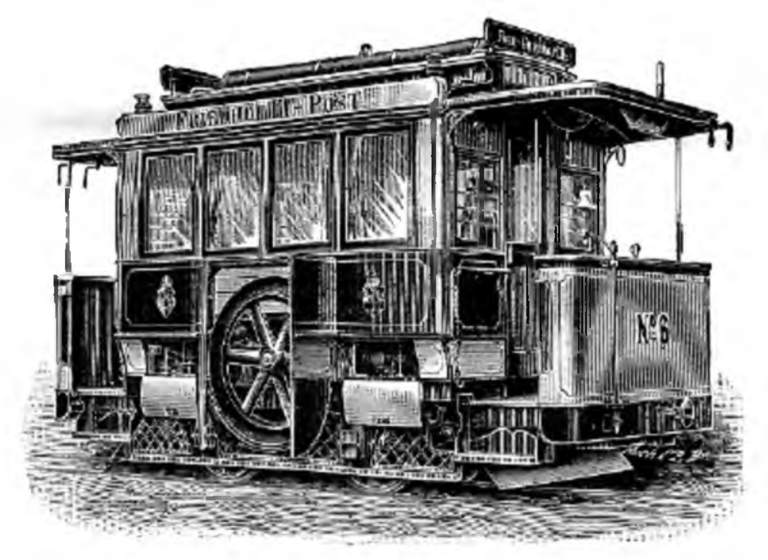
931 и 932. Вагонъ городской желѣзной дороги съ газовымъ двигателемъ.

работѣ, такъ какъ двигатель послѣ каждой остановки приходилось бы снова пускать въ ходъ дѣйствіемъ внѣшней силы, при катерахъ употребляются по большей части гребные винты съ поворотными лопастями (поворотные винты); при нихъ ходъ впередъ и назадъ достигается тѣмъ, что поворотомъ лопастей во время хода винтъ дѣлается или съ лѣвымъ ходомъ или съ правымъ. Соотвѣтственной установкой лопастей можно регулировать скорость, причемъ самъ двигатель идетъ равномѣрно съ неизмѣняющеюся скоростью. При среднемъ положеніи лопастей винта при продолжающейся работѣ двигателя катеръ останавливается.

Новымъ, интереснымъ и многообѣщающимъ является примѣненіе газовыхъ двигателей къ городскимъ желѣзнымъ дорогамъ. Мысль о примѣненіи газовыхъ двигателей для движенія вагоновъ появилась уже вскорѣ послѣ ихъ изобрѣтенія; уже годъ спустя послѣ ихъ появленія выданы два нѣмецкіе патента на локомотивы съ газовыми двигателями; подобныя же конструкціи

были патентированы и заграницей. Въ то время изобрѣтатели стремились конструировать локомотивъ съ газовымъ двигателемъ, а не вагонъ для городскихъ желѣзныхъ дорогъ; въ то время ревностно изыскивались способы замѣны небольшихъ паровыхъ локомотивовъ. Однако уже въ ближайшіе годы явилась мысль перенести двигатель въ самый вагонъ вмѣсто прицѣпки особаго локомотива, и многіе изобрѣтатели въ послѣдующее время занимались конструктивнымъ развитіемъ этой мысли. Въ 1892 году инженеръ Люригъ выступилъ съ конструированнымъ имъ вагономъ городской желѣзной дороги съ газовымъ двигателемъ; въ слѣдующемъ году былъ уже въ обращеніи пробный вагонъ на Дрезденской городской желѣзной дорогѣ; онъ возбудилъ вездѣ всеобщее вниманіе и явился началомъ примѣненія газовыхъ двигателей на городскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Каждый вагонъ съ газовымъ двигателемъ имѣетъ при себѣ извѣстное число резервуаровъ съ газомъ, въ сжатомъ состояніи (подъ давленіемъ до



933. Вагонъ съ газовымъ двигателемъ городской желѣзной дороги въ Дессау.

6 атмосферъ), необходимымъ для движенія; общая емкость резервуаровъ достигаетъ $1^1/_4$—$2^1/_2$ куб. метровъ. Для сжатія газа необходима небольшая станція, на которой газъ, поступающій изъ газопроводныхъ трубъ, сжимается насосами въ особыхъ запасныхъ резервуарахъ до 8 атмосферъ давленія при очень небольшой затратѣ на это энергіи; изъ этого запасного резервуара легко и въ весьма короткое время наполняютъ сжатымъ до 6 атмосферъ газомъ резервуары вагоновъ. Рис. 931 и 932 представляютъ устройство двигателя и колесъ въ Люриговскихъ вагонахъ съ газовыми двигателями. Вагонъ этотъ приводится въ дѣйствіе двумя едвоенными двигателями *MM*, расположенными вдоль вагона подъ сидѣньями; въ двигателяхъ, конструированныхъ спеціально для этой цѣли заводомъ Дейтцъ, оба цилиндра, въ противуположность обыкновенному расположенію, лежатъ, для сбереженія мѣста, одинъ противъ другого. Оба маховика *SS* расположены за спинками сидѣній и прикрыты желѣзными кожухами. Газъ, прежде чѣмъ попадетъ изъ резервуара *BB* въ двигатель, проходитъ черезъ регуляторъ давленія, уменьшающій давленіе до 30—40 мм. водяного столба. На крышѣ вагона расположенъ резервуаръ съ водою для охлажденія; автоматическою циркуляціею вода изъ оболочекъ цилиндровъ возвращается въ резервуаръ, гдѣ она

охлаждается; *этимъ устраняется частая замѣна воды новой. Отработавшій* газъ идетъ изъ цилиндра сперва черезъ звукотушитель, затѣмъ черезъ расположенный на крышѣ вагона холодильникъ, изъ котораго продукты горѣнія, состоящіе какъ извѣстно, у газовыхъ двигателей только изъ углекислоты и воды, слѣдовательно безъ дыма и копоти, выходятъ безъ шума и почти безъ запаха въ воздухъ.

При помощи распредѣленія, управляемаго рычагомъ вагоновожатымъ, двигатели могутъ быть устанавливаемы на три различныя скорости: 150 оборотовъ въ минуту, при ходѣ двигателя въ пустую, 200 для медленнаго и 240 для быстраго хода; при короткихъ перерывахъ въ движеніи, на остановкахъ и конечныхъ пунктахъ двигатели идутъ при 150 оборотахъ въ пустую, благодаря чему избѣгается необходимость вращать каждый разъ маховикъ внѣшнею силою для пуска двигателя въ ходъ. *A*—общій для *обоихъ двигателей валъ; онъ приводитъ въ движеніе при посредствѣ зубчатыхъ* колесъ *ZZ*, валъ *W*, отъ котораго посредствомъ выступающаго сцѣпленія за лапку и двухъ паръ зубчатыхъ колесъ съ различною передачею движеніе передается боковому валу W_2 и смотря по тому, какая пара зубчатыхъ колесъ захватывается, получается медленный или быстрый ходъ. Расположенный на другой сторонѣ валъ W_3 и есть настоящій рабочій валъ; онъ приводится въ движеніе впередъ или назадъ при посредствѣ другого сцѣпленія за лапку съ другой парой зубчатыхъ колесъ. Отъ этого главнаго вала движеніе передается осямъ колесъ при посредствѣ двухъ галлевскихъ шарнирныхъ цѣпей. Передача къ главному валу происходитъ при посредствѣ сцѣпленія треніемъ (фрикціонной передачи), включаемой или выключаемой вагоновожатымъ при помощи ручного колеса; съ этимъ приспособленіемъ еще находится въ соединеніи тормазъ, причемъ онъ начинаетъ дѣйствовать сейчасъ же, какъ только соединеніе разобщено и, наоборотъ, тормаза отпускаются при выдвиганіи соединенія и приведеніи колесъ въ движеніе. Вагоновожатый имѣетъ такимъ образомъ одинъ рычагъ для регулированія скорости движенія двигателя, два рычага для вдвиганія обоихъ сцѣпленій за лапку и ручное колесо для сцѣпленія треніемъ и для тормазовъ. При помощи этихъ приспособленій возможно легко и навѣрное произвести пускъ въ ходъ двигателя, медленное или быстрое движеніе, мгновенную остановку и ходъ назадъ. Пассажиры при движеніи не чувствуютъ работы двигателя; только когда при остановкѣ двигатель идетъ въ пустую, слышенъ небольшой шумъ.

Въ *1894 году въ Германіи была устроена первая городская желѣзная* дорога съ газовыми двигателями въ Дессау; она съ тѣхъ поръ находится въ дѣйствіи съ двумя станціями для сжатія газа; длина линіи 4,4 километра и на ней обращаются десять вагоновъ съ двигателями системы Люрига; они работаютъ какъ въ техническомъ, такъ и въ экономическомъ отношеніи вполнѣ удовлетворительно. Рис. 933 представляетъ такой вагонъ съ двигателемъ съ открытою дверцею у маховика.

Двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ.

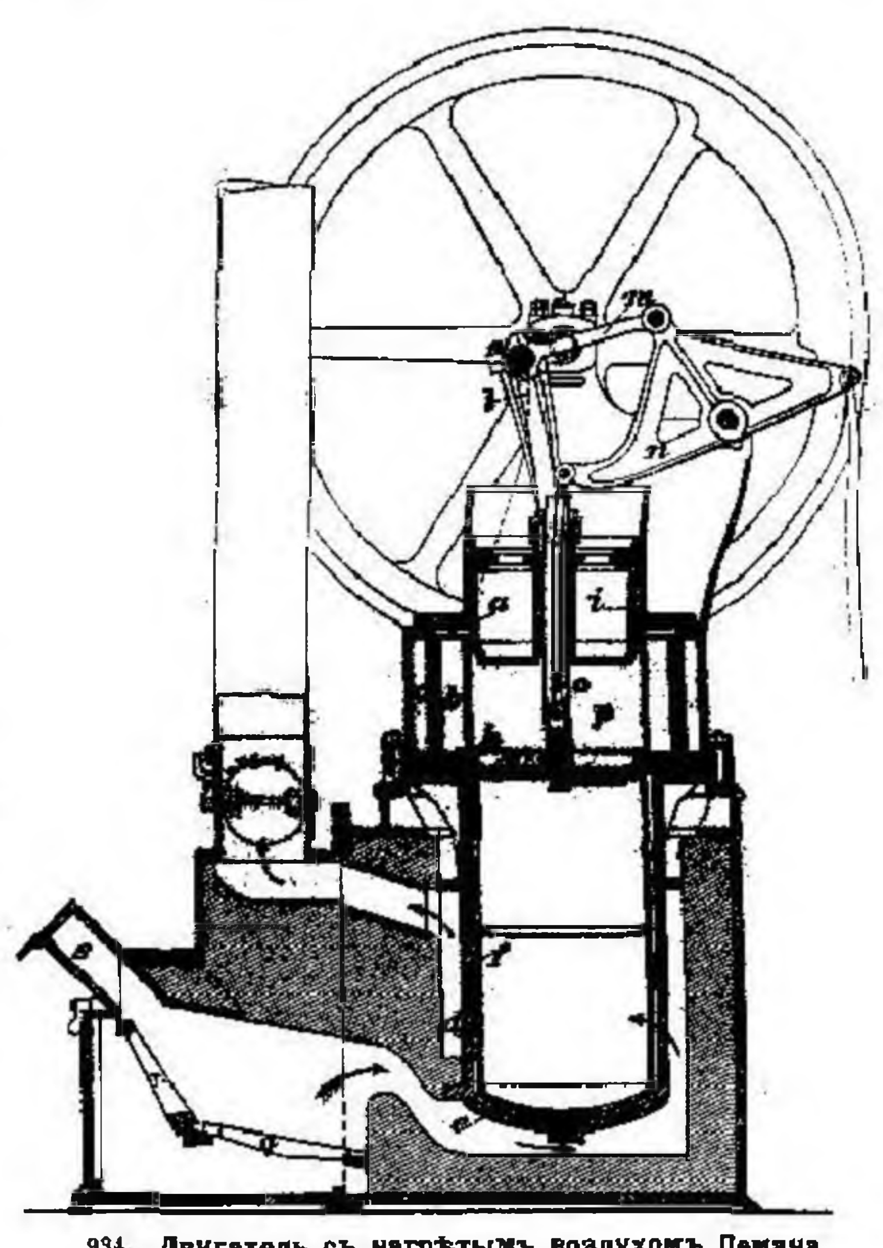
Двигатели этого рода короткое время до 60-хъ годовъ обращали на себя большое вниманіе; полагали, что въ нихъ найденъ идеальный двигатель и считали его даже за рѣшеніе вопроса о вѣчномъ движеніи (perpetuum mobile). Въ настоящее время двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ не имѣютъ *почти никакого значенія въ техникѣ; они должны были уступить мѣсто* другимъ двигателямъ, въ особенности газовымъ и керосиновымъ. Ихъ открытіе и развитіе представляютъ однако нѣкоторый интересъ, вслѣдствіе чего о нихъ и изложено здѣсь вкратцѣ. Принципъ, лежащій въ основѣ разнообразныхъ двигателей съ нагрѣтымъ воздухомъ, очень простъ, гораздо

npomo принципа дѣйствія паровыхъ машинъ; они основаны на расширеніи и сжатіи воздуха при нагрѣваніи и охлажденіи.

Изобрѣтелемъ двигателя съ нагрѣтымъ воздухомъ слѣдуетъ считать шведа Джона Эриксона, хотя еще до него Джонъ Стерлингъ изъ Глазгова построилъ въ 1827 г. двигатель съ расширеніемъ воздуха, не имѣвшій однако никакого успѣха. Эриксонъ былъ офицеромъ шведской арміи; его изобрѣтательный умъ занимался главнымъ образомъ разрѣшеніемъ вопроса о постройкѣ такого теплового двигателя, въ которомъ тепло утилизовалось бы болѣе экономичнымъ образомъ, чѣмъ въ паровыхъ машинахъ, такъ какъ ему было хорошо извѣстно, что съ примѣненіемъ водяного пара неразрывно были связаны большія потери. Онъ полагалъ возможнымъ замѣнить паръ другимъ равнозначнымъ веществомъ, повсюду находящимся воздухомъ, и конструировать воздушный двигатель, но въ своемъ отечествѣ не нашелъ необходимой поддержки и обратился вслѣдствіе этого въ Англію; въ 1833 году онъ установилъ въ Лондонѣ первый свой пятисильный воздушный двигатель. Двигатель этотъ возбудилъ всеобщее вниманіе; по словамъ Эриксона, двигатель этотъ представляетъ собою удачное рѣшеніе вопроса о вѣчномъ движеніи. Конструкція двигателя и его взгляды на способъ его дѣйствія должны были привести къ этому предположенію, даже еслибы самъ изобрѣтатель и протестовалъ противъ этого названія. Слѣдуетъ замѣтить, что тогда механическая теорія тепла еще не была разработана, тепло считалось за легкое и невѣсомое вещество, находящееся во всѣхъ тѣлахъ и сообщаемое или отнимаемое отъ нихъ при ихъ температурныхъ измѣненіяхъ. Способъ дѣйствія двигателя былъ слѣдующій. Воздушный насосъ накачивалъ атмосферный воздухъ подъ извѣстнымъ давленіемъ въ резервуаръ; изъ него воздухъ поступалъ въ рабочій цилиндръ, снабженный поршнемъ, проходя передъ этимъ черезъ регенераторъ — характеристичную часть двигателя. Рабочій цилиндръ нагрѣвался на огнѣ. Сжатый воздухъ расширялся вслѣдствіе нагрѣванія и давилъ на поршень, производя давленіе. При обратномъ ходѣ поршня воздухъ выходилъ безъ избытка давленія, но еще горячій и, проходя черезъ регенераторъ, плотную проволочную ткань большой металлической поверхности, удалялся въ атмосферу; въ регенераторѣ онъ долженъ былъ отдавать сѣткѣ все тепло, полученное при нагрѣваніи. При слѣдующемъ ходѣ поршня сжатый воздухъ изъ резервуара при проходѣ черезъ регенераторъ опять получалъ обратно это тепло и вслѣдствіе увеличенія своей упругости производилъ работу въ цилиндрѣ, не требуя новаго притока тепла. Топка служила лишь къ тому, чтобы пополнить неизбѣжную потерю тепла на лучеиспусканіе и на несовершенное дѣйствіе регенератора; на послѣдній же смотрѣли, какъ на настоящій запасъ энергіи. Ошибка во всемъ этомъ объясненіи для насъ ясна. Конечно, двигатель можетъ совершать работу, но только благодаря нагрѣванію цилиндра; при этомъ сообщаемое воздуху количество тепла при расширеніи отчасти превращается въ механическую работу, т.-е., какъ тепло, оно теряется и только остатокъ его при выходѣ воздуха запасается въ регенераторѣ. Послѣдній хорошо дѣйствуетъ, подогрѣвая свѣжій воздухъ, благодаря чему сберегается топливо, точно такъ же какъ остающееся тепло отработавшаго пара паровыхъ машинъ примѣняютъ для подогрѣванія питательной воды.

При небольшихъ опытныхъ двигателяхъ дѣйствительно расходуется мало угля. Нѣтъ парового котла, а двигатель совершаетъ работу; отношеніе произведенной работы къ расходу угля не было конечно установлено. Для техниковъ и людей науки явилась загадка. Знаменитый физикъ Фарадей въ публичномъ чтеніи сомнѣвался въ возможности дѣйствія такого двигателя, такъ какъ ему была ясна невозможность вѣчнаго движенія; когда же онъ увидѣлъ двигатель въ дѣйствіи, онъ заявилъ, что двигатель дѣй-

ствительно совершаетъ работу, но онъ не знаетъ, за счетъ чего. Предполагали, что при большихъ двигателяхъ въ нѣсколько сотъ лошадиныхъ силъ, *построенныхъ по идеѣ этой опытной машины, явится значительная экономія* въ топливѣ. Эриксонъ, послѣ того какъ не нашелъ достаточной поддержки въ Англіи, обратился въ Америку, гдѣ онъ былъ принятъ съ распростертымъ объятіями и гдѣ онъ нашелъ поддержку у правительства и частныхъ лицъ. Ему здѣсь были предоставлены въ изобиліи средства для осуществленія его идеи и онъ построилъ въ 1852 году два разсчитанные на 1000 лошадиныхъ силъ каждый двигателя для большихъ океанскихъ пароходовъ; двигатели эти дѣйствительно работали, хотя и развивали значительно меньшую силу, чѣмъ ожидали, но главныя основанія ихъ устройства оказались явно ошибочными: *двигатель расходовалъ* столько же угля, какъ и паровыя машины, и необходимо было постоянно сильно подогрѣвать цилиндръ для полученія необходимой скорости движенія парохода. Это было для Эриксона горькимъ разочарованіемъ; если бы онъ уже тогда зналъ о законѣ сохраненія энергіи, если бы онъ былъ въ сношеніи съ простымъ нѣмецкимъ врачемъ изъ Гейдельберга, *которому уже* десять лѣтъ было извѣстно о соотношеніи между тепломъ и механическою работою, тогда не было бы этого разочарованія и еще многихъ безполезныхъ работъ. Но онъ работалъ не унывая надъ своей идеей далѣе и устроилъ, отказавшись отъ конкурированія съ большими паровыми машинами, свой двигатель съ нагрѣтымъ воздухомъ въ видѣ небольшихъ двигателей, къ чему они дѣйствительно пригодны *вслѣдствіе безопасности* ихъ работы въ сравненіи съ паровыми машинами.



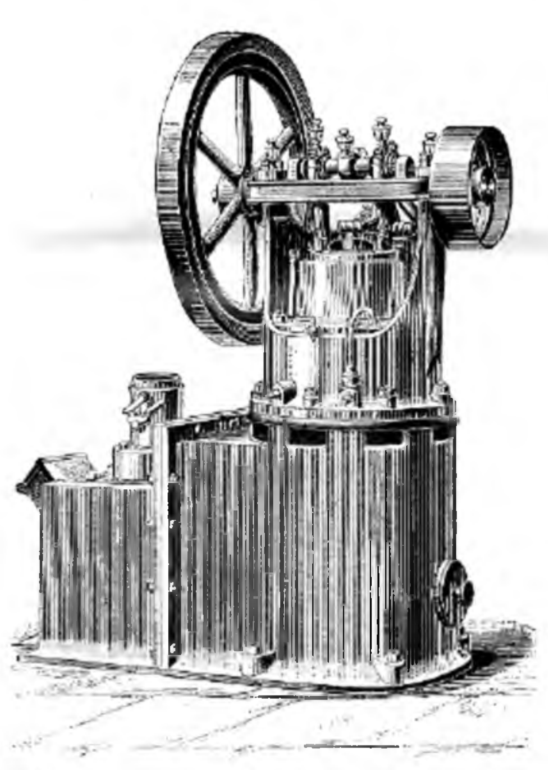
934. Двигатель съ нагрѣтымъ воздухомъ Лемана (поперечный разрѣзъ).

Въ Европѣ еще до упомянутой большой неудачи его двигатели показывались въ дѣйствіи на лондонской выставкѣ 1851 года.

Двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ Эриксона, которые въ концѣ пятидесятыхъ годовъ были извѣстны во всемъ свѣтѣ и вездѣ введены, сравнительно съ первоначальной ихъ конструкціей были уже значительно усовершенствованы.

Всѣ двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ подраздѣляются на открытые и закрытые; первыми называются тѣ, въ которыхъ при каждомъ ходѣ поршня къ рабочему цилиндру подводится воздушнымъ насосомъ, приводимымъ въ дѣйствіе самимъ двигателемъ, свѣжій воздухъ, который нагрѣвается и, послѣ отдачи при расширеніи пріобрѣтенной имъ при нагрѣваніи энергіи рабочему

цилиндру удаляется изъ двигателя; въ закрытыхъ двигателяхъ наоборотъ одно и то же количество воздуха попеременно нагревается и охлаждается. Оба вида двигателей строятся почти исключительно какъ двигатели простого действія; они, какъ и газовые двигатели, снабжены сильными маховиками, которые помогаютъ движенію двигателя въ продолженіи хода поршня безъ взрыва. Ранее описанный первый двигатель Эриксона былъ открытымъ. Эти двигатели обладаютъ еще некоторыми недостатками; утилизація тепла въ нихъ весьма несовершенна, такъ какъ воздухъ выходитъ изъ двигателя еще слишкомъ нагретымъ; расходъ смазочныхъ веществъ великъ, вследствіе высокой температуры смазываемыхъ, не пропускающихъ воздухъ частей; двигатель работаетъ не вполне спокойно, все рычаги и клапаны сильно стучатъ. Различными усовершенствованіями возможно значительно уменьшить эти недостатки, но совсемъ ихъ устранить невозможно.

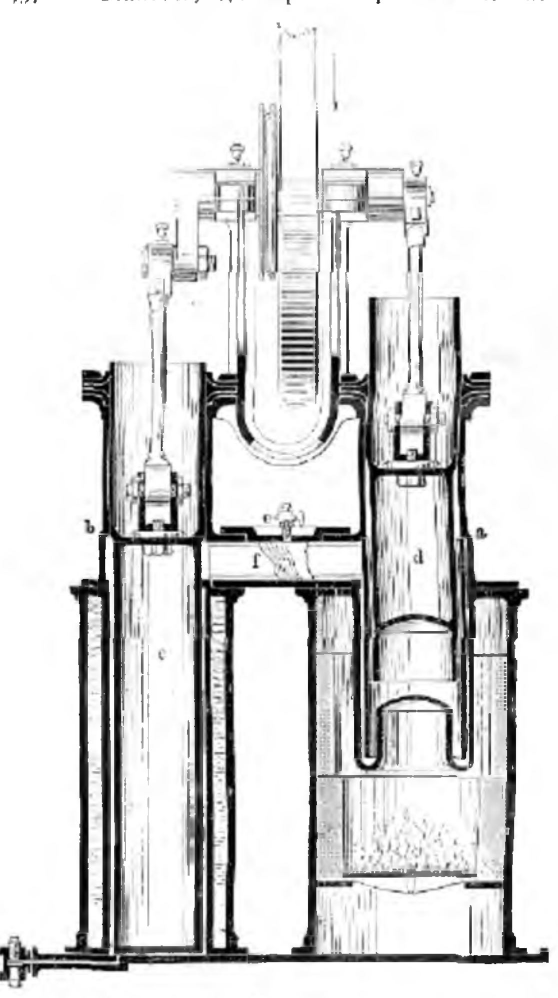


935. Двигатель съ нагретымъ воздухомъ Лемана (внешній видъ).

Техники однако не прилагали усилій создать по прототипу двигателя Эриксона более хорошіе небольшіе двигатели съ нагретымъ воздухомъ другихъ конструкцій; было однако конструировано много другихъ пригодныхъ для работы подобныхъ двигателей. Всего более известными и более всего распространенными въ Германіи были новые двигатели съ нагретымъ воздухомъ Лемана. Устройство и действіе подобныхъ двигателей более новой конструкціи въ томъ виде, какъ они строятся (или строились несколько летъ тому назадъ) Берлинско-Ангальтскимъ машиностроительнымъ обществомъ въ Берлине-Моабите и Дессау, изображены схематически на рис. 934. Рис. 935 представляетъ внешній видъ двигателя.

На рис. 934 представленъ въ разрезе двигатель, служащій для приведенія въ действіе насоса; непосредственно отъ шейки мотыля приводится въ движеніе рычажный угольникъ, къ которому присоединены стержни насоса. Рис 935 представляетъ двигатель для промышленныхъ целей, со шкивомъ для ременной передачи. Устройство двигателя следующее. Вертикальный, состоящій изъ двухъ частей, сверху открытый чугунный цилиндръ P на верхней части снабженъ двумя кольцевыми оболочками b и c, въ которыхъ циркулируетъ вода для охлажденія; кольцеобразное пространство между ними посредствомъ канала a соединяется съ внутреннимъ пространствомъ цилиндра. Нижняя часть цилиндра представляетъ изъ себя жаровой горшокъ d; онъ вмазанъ въ печь, eg топка последней, e закладное отверстіе для топлива. Нагретые газы обтекаютъ жаровой горшокъ, какъ указано стрелками, нагреваютъ его до красна и идутъ въ трубу, имеющую задвижку для регулированія тяги. Внешній жаровой горшокъ d имеетъ еще внутренній кожухъ или горшокъ e; между обоими имеется свободное кольцевое пространство, соединенное съ одной стороны съ упомянутымъ каналомъ между обеими охлаждающими оболочками b и c и съ другой стороны при посредстве отверстій въ дне внутренняго горшка съ внутреннимъ пространствомъ

цилиндра. Въ верхней части цилиндра движется поршень *i*, работающій при посредствѣ двухъ шатуновъ *l* на кривошипъ вала маховика. Черезъ поршень плотно проходитъ длинная труба съ сальникомъ, которая можетъ двигаться *вверхъ и внизъ между насаженными по обѣимъ сторонамъ ея на оси шатунами.* Черезъ эту трубу и посредствомъ двигающагося въ ней и вмѣстѣ съ нею стержня *O* приводится въ движеніе отъ кривошипа посредствомъ стержня *m* и соединенія *n* находящійся внутри цилиндра подъ поршнемъ длинный, пустотѣлый, вполнѣ закрытый желѣзный цилиндръ *fg*, вытѣснитель, діаметръ котораго нѣсколько менѣе внутренняго діаметра цилиндра; послѣдній движется въ цилиндрѣ строго вертикально, при помощи упомянутой, неизмѣнно съ нимъ связанной трубы, проходящей черезъ сальникъ. Вытѣснитель сверху отдѣленъ отъ цилиндра при посредствѣ диска *g* со вложеннымъ кольцомъ *h*. При ходѣ вытѣснителя вверхъ и внизъ заключенный въ двигателѣ воздухъ попеременно перетекаетъ или въ нагрѣтый жаровой горшокъ, или въ верхнюю охлажденную часть цилиндра. При этомъ воздухъ проходитъ изъ цилиндра по ранѣе упомянутымъ каналамъ *aa* и спускается внизъ между обѣими охлаждающими оболочками *cb*; далѣе онъ идетъ между внѣшнимъ жаровымъ горшкомъ *d* и внутреннимъ кожухомъ, нагрѣвается на внутренней поверхности накаленнаго внѣшняго жарового горшка и внѣшней поверхности внутренняго кожуха и нагрѣтымъ поступаетъ черезъ отверстія въ днѣ внутренняго горшка въ цилиндръ подъ вытѣснитель.



936. Воздушный двигатель Ридера.

Способъ дѣйствія двигателя слѣдующій. Вытѣснитель и рабочій поршень совершаютъ свои движенія вверхъ и внизъ не одновременно, но вытѣснитель движется ранѣе рабочаго поршня приблизительно постоянно на $^{1}/_{4}$ хода; во время большей части своего движенія они движутся въ противуположныхъ направленіяхъ. Когда, вслѣдствіе движенія вытѣснителя вверхъ, холодный воздухъ верхней части цилиндра описаннымъ ранѣе путемъ достигнетъ жарового горшка и здѣсь нагрѣется, онъ расширится и производетъ давленіе на воздухъ цилиндра подъ поршнемъ и на него самого въ направленіи снизу вверхъ; при обратномъ ходѣ вытѣснителя нагрѣтый воздухъ поступитъ въ верхнюю часть цилиндра; здѣсь онъ охлаждается при соприкосновеніи съ оболочкой и сжимается, благодаря чему давленіе надъ поршнемъ уменьшается, но поршень, благодаря своему вѣсу и живой силѣ маховика, опять движется внизъ. На рисункѣ маховикъ движется въ плоскости чертежа обратно движенію часовой стрѣлки, вытѣснитель находится въ самомъ низкомъ положеніи, весь воздухъ вытѣсненъ въ верхнюю часть цилиндра и здѣсь охлаждается. Рабочій цилиндръ находится нѣсколько выше средняго положенія и движется внизъ; вытѣснитель, увлекаемый рычагомъ, начинаетъ ходъ вверхъ, воздухъ переходитъ затѣмъ внизъ. Когда вытѣснитель совершитъ около $^{3}/_{4}$ своего хода, рабочій цилиндръ дойдетъ до низу; теперь

начинаетъ дѣйствовать упругая сила находящагося внизу нагрѣтаго воздуха и поршень увлекается вверхъ и т. д. Рабочій поршень движется въ наиболѣе холодной части цилиндра и нагрѣтый воздухъ не можетъ приходить въ непосредственное соприкосновеніе съ нимъ; онъ дѣйствуетъ на цилиндръ не непосредственно; онъ производитъ давленіе на воздухъ, находящійся въ каналѣ между оболочками для охлажденія и подъ поршнемъ и этотъ воздухъ передаетъ это давленіе, какъ упругая промежуточная среда. Въ этомъ лежитъ преимущество двигателей Лемана передъ другими конструкціями, такъ какъ въ немъ легче достигнуть лучшей и болѣе продолжительной плотности поршня при посредствѣ простого кожанаго манжета со смазкою саломъ. Подобные двигатели Лемана, дѣйствующіе нагрѣтымъ воздухомъ, строятся мощностью отъ $^1/_2$ до 2 лошад. силъ.

Закрытый двигатель съ нагрѣтымъ воздухомъ или двигатель съ сжатымъ воздухомъ Ридера, изображенный въ вертикальномъ разрѣзѣ на рис. 936, имѣетъ два цилиндра, рабочій цилиндръ a и цилиндръ для сжатія c; оба цилиндра соединены трубою f, содержащею регенераторъ изъ большого числа металлическихъ пластинокъ; при прохожденіи черезъ него воздуха изъ одного цилиндра въ другой, тепло или отнимается отъ воздуха, или имъ пріобрѣтается, смотря по тому, идетъ-ли холодный воздухъ изъ цилиндра для сжатія въ рабочій цилиндръ или нагрѣтый воздухъ въ обратномъ направленіи. Цилиндръ C снабженъ оболочкою съ проточною водою для охлажденія. Рабочій цилиндръ нижнею своею частью вмазанъ въ печь; его окружаетъ кожухъ h, оканчивающійся снизу цилиндрическимъ куполообразнымъ углубленіемъ. Въ рабочемъ цилиндрѣ движется рабочій поршень d, въ цилиндрѣ b вытѣснитель и поршень для сжатія c; оба очень длинны; въ верхней части цилиндровъ они плотно прилегаютъ къ внутреннимъ стѣнкамъ цилиндровъ. Оба поршня соединены посредствомъ шатуновъ съ кривошипами; оба кривошипа установлены одинъ относительно другого на уголъ, нѣсколько большій 90°, такъ что рабочій поршень идетъ впередъ на полхода.

Изъ высшаго положенія поршня c одновременно съ нимъ идетъ внизъ и рабочій поршень d, вслѣдствіе чего воздухъ въ обоихъ цилиндрахъ сжимается; оба поршня преодолѣваютъ нѣкоторое сопротивленіе и необходимая для этого энергія получается отъ маховика. Такъ какъ поршень d на полхода приходитъ ранѣе въ низшее положеніе, чѣмъ c, то онъ вытѣсняетъ воздухъ черезъ соединительную трубу f въ цилиндръ b, причемъ тепло воздуха отдается регенератору; въ цилиндрѣ b воздухъ охлаждается и измѣняется въ объемѣ; когда рабочій поршень начнетъ движеніе вверхъ, вытѣснитель c продолжаетъ еще двигаться внизъ и воздухъ изъ цилиндра b идетъ черезъ регенераторъ, гдѣ онъ отнимаетъ отъ послѣдняго тепло, черезъ кольцевое промежуточное пространство между оболочкой h и нижнею открытою частью рабочаго цилиндра, въ послѣдній; при соприкосновеніи съ сильно нагрѣтою поверхностью кожуха h и нижней его частью i воздухъ сильно нагрѣвается и производитъ давленіе на поршень снизу вверхъ. Работа, производимая во время хода сдавливающаго поршня внизъ и подъема рабочаго поршня вверхъ, соотвѣтствуетъ разности давленій въ нагрѣтомъ и холодномъ цилиндрахъ. Когда, послѣ перехода сдавливающаго поршня черезъ низшее положеніе, оба поршня идутъ вверхъ, тогда давленіе воздуха дѣйствуетъ на оба поршня; за этотъ промежутокъ тепловая энергія постоянно подводится расширяющемуся воздуху топкой, воздухъ же, переходящій въ цилиндръ c, отдаетъ одновременно тепло регенератору и охлаждающей водѣ; e — кранъ, при помощи открыванія котораго двигатель можетъ быть остановленъ, такъ какъ нагрѣтый воздухъ вмѣсто давленія на поршень выходитъ черезъ этотъ кранъ; g — клапанъ, пропускающій благодаря дѣйствію внѣшняго атмосфернаго давленія столько дополнительнаго воздуха въ двигатель, сколько его теряется на неплотности въ поршняхъ.

Мощность двигателей съ нагрѣтымъ воздухомъ даже при очень большихъ размѣрахъ рабочаго цилиндра очень не велика. При помощи ихъ, судя по ихъ принципу дѣйствія, казалось бы можно было лучше утилизировать теплоту горѣнія топлива, чѣмъ при помощи паровыхъ машинъ; однако вслѣдствіе неизбѣжныхъ большихъ потерь тепла на лучеиспусканіе и на передачу охлаждающей водѣ, отдача двигателей съ нагрѣтымъ воздухомъ не выше таковой же для небольшихъ паровыхъ машинъ. Двигатели Лемана расходуютъ на лошадиную силу въ часъ около 4 клгр. угля, такъ что коэффиціентъ ихъ полезнаго дѣйствія достигаетъ только $2-2^1/_2$ %.

Преимущество двигателей съ нагрѣтымъ воздухомъ для мелкой промышленности лежитъ въ ихъ безопасности, такъ какъ они вездѣ могутъ быть

устанавливаемы безъ разрѣшенія полиціи; они не требуютъ особаго котла и легко могутъ быть пускаемы въ ходъ по непродолжительномъ предварительномъ ихъ нагрѣваніи. Недостатки двигателей подобнаго рода заключаются въ большомъ расходѣ топлива, въ нѣсколько, какъ мы видѣли, сложной конструкціи, а также въ сравнительно большихъ размѣрахъ, обусловливающихъ большую цѣнность двигателя при сравнительно малой его мощности. Такъ какъ современные газовые и керосиновые двигатели обладаютъ тѣми же преимуществами, что и двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ, къ тому же они не требуютъ топки, которую слѣдуетъ разводить и поддерживать, а слѣдовательно они удобнѣе въ работѣ, то въ новѣйшее время они все болѣе и болѣе вытѣсняютъ двигатели съ нагрѣтымъ воздухомъ и, повидимому, въ *скоромъ времени этотъ видъ калорическихъ двигателей совершенно исчезнетъ* въ техникѣ и промышленности.

Новый термическій двигатель Дизеля.

Какъ указано уже ранѣе, небольшой, какъ теоретическій, такъ и экономическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровыхъ машинъ лежитъ въ примѣненіи паровъ воды, какъ носителя энергіи, т.-е. въ основномъ принципѣ паровыхъ машинъ; прежде всего пары воды получаются въ котлѣ уже съ неизбѣжными потерями въ теплѣ; затѣмъ потери существуютъ въ самихъ паровыхъ машинахъ; изъ всей энергіи, сообщаемой пару при горѣніи угля, только незначительная часть можетъ быть превращена въ механическую работу.

Въ 1893 году германскій инженеръ Руд. Дизель издалъ брошюру: „Теорія и конструкція раціональнаго теплового двигателя“, гдѣ онъ развиваетъ теоретическія требованія и предположенія о практическомъ выполненіи теплового двигателя на новыхъ основаніяхъ, который должны представлять существенныя улучшенія существовавшихъ до этого времени тепловыхъ двигателей. Брошюра хотя въ началѣ и обратила на себя вниманіе спеціалистовъ вслѣдствіе новизны и правильности развиваемыхъ въ ней положеній, но о практическомъ осуществленіи изложеннаго въ ней не было почти ничего слышно въ теченіи нѣсколькихъ лѣтъ; только около середины 1897 года стали извѣстны среди спеціалистовъ опыты Дизеля, послѣ того какъ ему удалось послѣ многолѣтней неутомимой и неустрашимой работы преодолѣть большія затрудненія, лежавшія между созданіемъ правильной идеи, установкой основаній для новаго двигателя и практическимъ осуществленіемъ и утилизаціей ихъ.

Дизель исходитъ изъ основного положенія, давно уже примѣнявшагося въ двигателяхъ съ нагрѣтымъ воздухомъ и въ газовыхъ двигателяхъ — сжиганія топлива въ самомъ рабочемъ цилиндрѣ; на основаніи теоретическихъ законовъ термо-механики, Дизель нашелъ для этого сжиганія новыя условія, позволявшія ожидать лучшей утилизаціи тепла. Не распространяясь о теоретическихъ основаніяхъ, выставленныхъ имъ, наиболѣе существенныя условія для такого сжиганія слѣдующія. При раціональномъ тепловомъ процессѣ въ двигателяхъ температура, при которой происходитъ сжиганіе топлива, должна получаться не самимъ процессомъ сгоранія, но до и независимо отъ него, слѣдовательно, еще до сжиганія, механическимъ сжатіемъ одного воздуха; для этого необходимо сжатіе до 30—50 атмосферъ, причемъ температура повысится до температуры горѣнія топлива. Послѣднее должно вводиться въ сильно нагрѣтый и сжатый воздухъ не сразу и не сразу сжигаться, но постепенно, такимъ образомъ, чтобы теплота, развиваемая при постепенномъ сгораніи, расходовалась на одновременное расширеніе и связанное съ нимъ охлажденіе, т.-е. превращалась бы въ механическую работу — давленіе на поршень. При этомъ необходимо, чтобы во время послѣдующаго періода

горѣнія не имѣло бы мѣста повышеніе температуры. Условіемъ для такого сжиганія естественно является то, чтобы возможно было вводить топливо въ соотвѣтствующемъ видѣ, напр., въ видѣ пыли, жидкости или газа. Наконецъ, здѣсь нельзя работать съ незначительнымъ избыткомъ воздуха, какъ это было до сихъ поръ при всякомъ сжиганіи; здѣсь, наоборотъ, требуется значительный избытокъ воздуха.

На основаніи этихъ положеній Дизель проектировалъ много конструкцій раціональныхъ тепловыхъ двигателей, какъ онъ ихъ назвалъ, которые должны были осуществить эти принципы, насколько это практически возможно, и изъ которыхъ въ особенности извѣстенъ одинъ двигатель для непосредственнаго сжиганія угля въ видѣ пыли. Онъ состоитъ изъ двухъ вертикальныхъ цилиндровъ *для сжиганія топлива, соединенныхъ при помощи распредѣлительнаго* клапана съ большимъ находящимся между ними среднимъ цилиндромъ; оба боковые цилиндра работали въ четыре такта; на каждые четыре хода приходилось по одному взрыву, причемъ вводилось и сожигалось извѣстное количество угля въ видѣ пыли. Взрывы въ цилиндрахъ происходили попеременно. Средній цилиндръ служилъ для послѣдующаго расширенія и онъ былъ простого дѣйствія, причемъ въ него въ пространство надъ поршнемъ вводятся горючіе газы поперемѣнно изъ обоихъ боковыхъ цилиндровъ; газы эти обладаютъ еще достаточною упругостью и совершаютъ въ этомъ цилиндрѣ еще работу. При этомъ съ нижней стороны поршня въ среднемъ цилиндрѣ *сжимается воздухъ и вгоняется* въ особый резервуаръ; изъ послѣдняго онъ идетъ черезъ распредѣлительный клапанъ попеременно въ оба боковые цилиндра; подобно сжатію смѣси газа и воздуха въ газовыхъ двигателяхъ, и здѣсь каждый разъ при ходѣ поршня, слѣдующемъ за ходомъ со взрывомъ, газъ сжимается и притомъ настолько, что при низшемъ положеніи поршня температура газа достигаетъ температуры воспламененія угольной пыли. Затѣмъ вводится угольная пыль, которая сейчасъ же и загорается. Упругость сгорѣвшихъ газовъ производитъ давленіе на поршень и при этомъ совершается работа.

Легко доказать, что такіе тепловые двигатели теоретически должны превосходить лучшія паровыя машины; во-первыхъ, благодаря сгоранію топлива непосредственно въ рабочемъ цилиндрѣ отпадаютъ котелъ и паропроводы съ ихъ потерями, и термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія при этомъ будетъ двойнымъ въ сравненіи съ таковымъ же для лучшихъ и самыхъ большихъ паровыхъ машинъ. Наоборотъ, съ увѣренностью можно предвидѣть, что механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія вслѣдствіе большого сжатія смѣси будетъ значительно менѣе; въ виду этого, а также въ виду конструктивныхъ трудностей, въ особенности, вслѣдствіе необходимости пользоваться очень большими давленіями, можно сомнѣваться и прямо оспаривать возможность практическаго успѣха подобныхъ двигателей. Вслѣдствіе признаннаго теоретическаго преимущества двигателей Дизеля они возбудили интересъ выдающихся спеціалистовъ и значительныхъ заводовъ, поддерживавшихъ Дизеля въ его попыткахъ. Извѣстный большой машиностроительный заводъ въ Аугсбургѣ предоставилъ въ его распоряженіе свою испытательную станцію, снабженную всѣми современными средствами науки и техники, и Дизель, поддержанный способными сотрудниками, продолжалъ въ теченіе многихъ лѣтъ съ неутомимою энергіею и упорствомъ свои работы и опыты по осуществленію на практикѣ своихъ идей.

Послѣ неоднократныхъ разочарованій и неоправдавшихся надеждъ, наконецъ, Дизель добился практическихъ результатовъ, которые возбудили большое вниманіе спеціалистовъ и которые по мнѣнію авторитетовъ могутъ имѣть громадное значеніе для дальнѣйшаго развитія двигателей. Въ концѣ 1895 г. былъ изготовленъ первый опытный двигатель на двѣнадцать лоша-

диныхъ силъ; топливомъ въ немъ могли служить какъ керосинъ, такъ и свѣтильный газъ; онъ былъ пригоденъ для практическаго примѣненія и въ теченіи мѣсяца работалъ на заводѣ на трансмиссію. Но этотъ опытный двигатель имѣлъ еще какъ въ общей конструкціи, такъ и въ конструкціи отдѣльныхъ частей недостатки; на основаніи произведенныхъ съ нимъ опытовъ былъ построенъ совсѣмъ новый, вполнѣ тщательно разработанный двѣнадцати-сильный двигатель, который въ началѣ 1897 г. былъ пущенъ въ работу на машиностроительномъ заводѣ въ Аугсбургѣ; топливомъ въ немъ служилъ керосинъ. Двигатель по своей конструкціи совершенно отличается отъ ранѣе описаннаго. Онъ былъ съ однимъ только вертикальнымъ цилиндромъ съ длиннымъ поршнемъ; онъ работалъ, какъ газовые двигатели, въ четыре такта. Послѣдовательный ходъ явленій въ двигателѣ слѣдующій: 1) поршень, благодаря живой силѣ маховика, пріобрѣтенной при предъидущихъ ходахъ, движется вверхъ; 2) при обратномъ ходѣ поршня этотъ воздухъ сжимается и притомъ настолько, что температура повышается до температуры воспламененія топлива; такъ какъ эта температура точно извѣстна, то по законамъ термодинамики возможно точно опредѣлить необходимое сжатіе. Энергія для второго хода поршня доставляется также маховикомъ; 3) при концѣ хода поршня внизъ въ сжатый воздухъ вводится при помощи насоса, приводимаго въ дѣйствіе самимъ двигателемъ, опредѣленное количество керосина; послѣдній сейчасъ же воспламеняется и газообразные продукты горѣнія производятъ давленіе на поршень. Притокъ топлива происходитъ не сразу, но въ теченіи извѣстной части хода поршня, періода впуска, совершенно такъ же, какъ впускъ пара въ паровыхъ машинахъ съ расширеніемъ. Начиная съ конца періода впуска, по сгораніи керосина, газообразные продукты горѣнія далѣе работаютъ только расширеніемъ; 4) при слѣдующемъ ходѣ поршня эти газы вытѣсняются изъ цилиндра, послѣ чего явленіе повторяется снова въ томъ же порядкѣ. Двигатель идетъ безъ охлажденія водою, причемъ вполнѣ оправдалась на практикѣ возможность работы безъ охлажденія, предусмотрѣнная теоретически. Позднѣе, по указаніямъ практики было примѣнено охлажденіе, какъ и у газовыхъ двигателей, и оказалось, что происходящія при этомъ потери тепла и энергіи во всякомъ случаѣ не настолько велики, какъ это предполагалось ранѣе.

Съ этимъ двигатели были предприняты соотвѣтствующіе опыты при участіи выдающихся профессоровъ по машиностроенію, извѣстныхъ людей практики, директоровъ и инженеровъ большихъ машиностроительныхъ заводовъ. Результаты этихъ испытаній согласны между собою, такъ что ихъ слѣдуетъ считать вполнѣ установленными и при чрезвычайной тщательности ихъ выполненія вполнѣ точными. Результатъ былъ тотъ, что новый двигатель превосходитъ въ утилизаціи тепла всѣ до сихъ поръ существовавшіе тепловые двигатели и стоитъ во главѣ ихъ всѣхъ. Теоретическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія двигателя достигаетъ 50—70%, причемъ первая цифра относится до малыхъ одноцилиндровыхъ двигателей, послѣдняя для большихъ сложныхъ двигателей; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія такимъ образомъ вдвое болѣе, чѣмъ у паровыхъ машинъ, а также газовыхъ и подобныхъ двигателей, при которыхъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія колеблется между 33 и 43%. Расходъ топлива достигаетъ 250 гр. на эффективную лошадиную силу въ часъ; общій эффективный, т.-е. экономическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, судя по опытамъ, въ среднемъ равенъ 25,7%, т.-е. изъ теплоты горѣнія топлива 25,7% превращается въ полезную механическую работу. Онъ очень великъ по сравненію съ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія другихъ тепловыхъ двигателей; общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія при большихъ паровыхъ машинахъ лучшаго производства, тройного расширенія достигаетъ 12 или 13%, при среднихъ—отъ 150 до

200 лошадиныхъ силъ — 9%, при машинахъ ниже 50 лошадиныхъ силъ съ охлажденіемъ — 5 или 6% и при обыкновенныхъ небольшихъ паровыхъ машинахъ онъ еще значительно менѣе. Однако, нельзя допускать экономическаго сравненія только по коэффиціентамъ полезнаго ихъ дѣйствія, такъ какъ въ двигателяхъ Дизеля примѣняется въ качествѣ топлива керосинъ или газъ, который, разсчитанный на одно и то же количество тепловой энергіи, значительно дороже, чѣмъ топливо паровыхъ машинъ — уголь.

Послѣ оффиціальныхъ опытовъ надъ аугсбургскимъ опытнымъ двигателемъ введены въ него дальнѣйшія усовершенствованія, благодаря чему, по сообщенію изобрѣтателя — Дизеля расходъ керосина на лошадиную силу въ часъ уменьшился до 215 гр. и экономическая отдача повысилась до 30%. Можно ожидать въ этомъ двигателѣ еще дальнѣйшихъ улучшеній, благодаря которымъ получится еще больщій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

Упомянутые опыты указали еще на слѣдующее важное свойство новаго двигателя. Расходъ топлива въ немъ, разсчитанный на единицу механической работы, мѣняется весьма мало, тогда какъ въ обыкновенныхъ газовыхъ двигателяхъ отдача при уменьшеніи нагрузки сравнительно съ нормальной сильно падаетъ; далѣе, двигатель Дизеля на опредѣленную мощность значительно меньше по размѣрамъ всѣхъ остальныхъ калорическихъ двигателей, *конечно, предназначенныхъ на одно и то же число оборотовъ.* Наконецъ, существеннымъ свойствомъ двигателя является то, что работа его можетъ регулироваться, какъ и при паровыхъ машинахъ, измѣненіемъ степени наполненія, т.-е. измѣненіемъ періода впуска топлива; двигатель слѣдуетъ за регуляторомъ замѣчательно точно, какъ это было доказано на опытахъ при мгновенной полной его нагрузкѣ и разгрузкѣ. Вслѣдствіе этого двигатель этотъ имѣетъ преимущество передъ паровыми машинами въ способности регулироваться, въ отношеніи спокойнаго и правильнаго хода, а также въ сравненіи съ главнѣйшими недостатками двигателей со взрывами — дѣйствіемъ съ ударами и неравномѣрностью регулированія вслѣдствіе невозможности измѣнять въ нихъ степень наполненія.

Двигатели Дизеля въ сравненіи съ паровыми машинами имѣютъ кромѣ того общее съ газовыми двигателями цѣнное свойство постоянной готовности къ работѣ: нѣтъ котла, не надо разводить топки; послѣ какого угодно продолжительнаго перерыва въ работѣ двигатель этотъ въ любое время можетъ быть сейчасъ же пущенъ въ ходъ. Важно еще то, что новый двигатель имѣетъ одинаково хорошій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія какъ при большихъ, такъ и при малыхъ размѣрахъ, такъ что нѣтъ причины стремиться получать необходимую для завода двигательную силу по возможности въ одномъ мѣстѣ при помощи одной машины и распредѣлять её сильно развѣтвленными передачами, что необходимо при паровомъ движеніи вслѣдствіе большей экономичности работы большихъ паровыхъ машинъ и въ особенности вслѣдствіе необходимости имѣть при этомъ паровые котлы. Вмѣсто этого можно установить нѣсколько двигателей Дизеля, по возможности ближе къ центрамъ потребленія, устраняя длинныя дорогія передачи и не вредя экономичности работы. Это обстоятельство даетъ двигателямъ Дизеля новое широкое поле примѣненія тамъ, гдѣ двигатель долженъ мѣнять мѣсто, напр. въ локомотивахъ. На мѣсто длиннаго тяжелаго желѣзнодорожнаго поѣзда съ большимъ локомотивомъ возможно пускать большее число меньшихъ вагоновъ съ двигателями. Подобные вагоны могли бы быть съ успѣхомъ примѣнены на линіяхъ мѣстнаго сообщенія.

До настоящаго времени двигатель Дизеля вполнѣ разработанъ главнымъ образомъ какъ керосиновый двигатель; но, какъ упомянуто ранѣе, онъ можетъ работать и съ другими жидкими углеводородами, а также со свѣтильнымъ газомъ. Конечная же цѣль Дизеля — сдѣлать возможнымъ примѣненіе

въ подобныхъ двигателяхъ угольной пыли. Изобрѣтателемъ вмѣстѣ съ машиностроительнымъ заводомъ въ Аугсбургѣ недавно предприняты въ этомъ направленіи предварительные работы и опыты.

Судя по изложенному, изобрѣтеніе Дизеля уже вышло изъ стадіи теоретическихъ разсчетовъ и начальныхъ опытовъ; мы уже получили новый тепловой двигатель, который ожидаетъ, по всей вѣроятности, блестящая будущность. Многіе выдающіеся машиностроительные заводы, между ними заводъ газовыхъ двигателей Дейтцъ, Фридриха Круппа, машиностроительные заводы въ Аугсбургѣ, Нобеля въ С.-Петербургѣ и многіе другіе уже начали изготовленіе этихъ двигателей. Изобрѣтеніе и разработка новаго двигателя въ теченіе небольшаго числа лѣтъ является торжествомъ для лицъ, которыя добились большого успѣха благодаря соединенію научныхъ изысканій съ выдающеюся конструктивною способностью и съ неутомимою энергіею.

Передача работы и центральныя устройства по снабженію энергіей.

Послѣ изложенія въ предыдущихъ главахъ способа дѣйствія и конструкціи машинъ для полученія силы или механической работы въ заключеніе слѣдуетъ изложить различные средства и способы передачи силы или механической работы и снабженія съ одного мѣста на бòльшія или мèньшія разстоянія механической энергіей отдѣльныхъ мѣстъ или цѣлыхъ районовъ. Почти при всѣхъ двигателяхъ для утилизаціи получаемой энергіи должна существовать промежуточная часть, передача на машины, потребляющія энергію. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ эта промежуточная часть очень проста и можетъ быть разсматриваема какъ часть двигателя или самой рабочей машины; при непосредственномъ приведеніи въ дѣйствіе, напр., насоса непосредственно поршневыми стержнями паровой машины излишне говорить о передаточныхъ частяхъ. Гдѣ отъ одного двигателя должны приводиться въ дѣйствіе много рабочихъ механизмовъ, тамъ мы имѣемъ передачу съ извѣстными составными частями; способы передачи работы могутъ быть весьма различны и распространяться на весьма различные районы.

Вообще при всѣхъ способахъ передачи энергіи можно сдѣлать основное различіе между тѣми, которые непосредственно передаютъ механическую работу, и тѣми, которые передаютъ энергію въ такомъ видѣ, въ которомъ она не можетъ быть непосредственно примѣнена для дальнѣйшей работы, но должна еще для этой цѣли подвергнуться дальнѣйшимъ преобразованіямъ.

Обыкновеннымъ, широко распространеннымъ способомъ передачи является фабричная трансмиссія. Средствомъ для передачи работы здѣсь являются ремни и шкивы или канаты и шкивы для нихъ, насаженные на валы; передача работы происходитъ силою натяженія кожаныхъ или пеньковыхъ ремней, пеньковыхъ или проволочныхъ канатовъ. На стѣнѣ или у потолка фабричнаго помѣщенія устанавливается на нѣсколькихъ стѣнныхъ или подвѣсныхъ кронштейнахъ съ подшипниками валъ трансмиссіи; на валу помѣщается главный приводный шкивъ, прямо напротивъ проводнаго шкива, расположеннаго на полу, вертикальнаго или горизонтальнаго двигателя. Оба шкива охватываетъ безконечный ремень, насаженный съ извѣстнымъ, не очень большимъ натяженіемъ. При ходѣ машины этотъ ремень увлекается треніемъ о шкивъ машины и увлекаетъ въ свою очередь шкивъ вала трансмиссіи, приводя послѣдній во вращеніе. Отъ различныхъ другихъ приводныхъ шкивовъ вала трансмиссіи или при посредствѣ еще другой промежуточной трансмиссіи или передачи приводятся въ движеніе отдѣльныя рабочія машины. Промежуточныя передачи примѣняются при необходимости

увеличить или уменьшить скорость вращенія. Если главная трансмиссія дѣлаетъ, напр., 80 оборотовъ въ минуту, тогда какъ нѣкоторыя рабочія машины должны совершать 400 оборотовъ, тогда устраиваютъ промежуточную передачу, напр. на 160 оборотовъ; при этомъ шкивъ на послѣдней ставится діаметромъ, равнымъ половинѣ діаметра приводнаго шкива на главномъ валу. Такъ какъ приводный ремень, захватывающій приводный шкивъ, движется со скоростью, равною скорости по окружности шкива главной трансмиссіи, діаметръ же и окружность шкива на промежуточной передачѣ вдвое менѣе, то число оборотовъ передаточнаго вала вдвое больше числа оборотовъ главнаго вала. Далѣе приводнымъ шкивамъ передаточнаго вала къ отдѣльнымъ исполнительнымъ механизмамъ придается діаметръ въ $2^1/_2$ раза большій, чѣмъ шкивы этихъ механизмовъ; благодаря этому скорость вращенія послѣднихъ увеличивается въ $2^1/_2$ раза, такъ что исполнительные механизмы идутъ со скоростью $2 \times 2^1/_2 \times 80 = 400$ оборотовъ въ минуту. Обратнымъ путемъ конечно возможно уменьшить скорость вращенія. Примѣненіе трансмиссіи основано, какъ упомянуто, на существованіи тренія между ремнемъ и шкивомъ. Чтобы это треніе было достаточно велико, ремень долженъ прилегать къ шкиву съ извѣстнымъ давленіемъ, т.-е. долженъ имѣть извѣстное натяженіе: чтобы онъ былъ въ состояніи его выдержать, ремень долженъ быть достаточной толщины и ширины. Для увеличенія тренія ремни со стороны, прилегающей къ шкивамъ, обмазываются соотвѣтственной смолистой массой; при длинныхъ или быстро идущихъ ремняхъ употребляются особыя приспособленія для ихъ натяженія. При передачахъ на бо́льшія разстоянія, чѣмъ въ районѣ одного фабричнаго помѣщенія, напр. при передачахъ черезъ дворы въ другія зданія примѣняется передача проволочными канатами, вмѣсто кожаныхъ или пеньковыхъ ремней, непримѣнимыхъ при большихъ разстояніяхъ и въ особенности на открытомъ воздухѣ; шкивъ съ желобомъ по ободу охватываетъ проволочный канатъ, передающій движеніе и вмѣстѣ съ нимъ работу на второй такой же шкивъ, насаженный на валъ. Силою натяженія дѣйствуютъ также и древнѣйшія приспособленія для передачи силы, канатъ для вертикальнаго и горизонтальнаго передвиженія тяжестей, примѣняемый въ особенности въ горномъ дѣлѣ. Передача при помощи каната представляетъ самую простую изъ всѣхъ существующихъ системъ передачи силы, такъ какъ при этомъ энергія, развиваемая машиною-двигателемъ, утилизируется для работы безъ какихъ либо промежуточныхъ механизмовъ. Канатъ уже съ древнихъ временъ во всеобщемъ употребленіи, въ особенности для вертикальнаго подъема тяжестей, главнымъ образомъ, подниманія тяжестей изъ шахтъ въ горномъ дѣлѣ. Онъ примѣняется также и для горизонтальнаго перемѣщенія, напр. въ послѣднее время для движенія канатныхъ городскихъ желѣзныхъ дорогъ въ американскихъ городахъ. Примѣръ передачи силы посредствомъ канатовъ уже ранѣе описанъ въ старой вододѣйствующей установкѣ въ Шаффгаузенѣ. Эта установка является самою старою установкою передачи силы и центральнаго снабженія энергіей въ большихъ размѣрахъ.

Въ позднѣйшее время въ передачѣ механической работы и въ дѣлѣ центральнаго снабженія энергіей пошли значительно далѣе. Два обстоятельства имѣютъ значеніе для такихъ установокъ и являются условіями для техническаго и экономическаго успѣха ихъ: съ одной стороны, возможность при благопріятныхъ условіяхъ получать посредствомъ большихъ, снабженныхъ лучшими приспособленіями, машинъ болѣе дешевую энергію, чѣмъ это возможно на мѣстахъ потребленія, на которыя ее и возможно передавать какою либо системою передачи; съ другой стороны, то обстоятельство, что превращеніе и утилизація переданной такимъ образомъ энергіи на мѣстахъ потребленія проще, чѣмъ работа тамъ особыхъ двигателей. При помощи

большихъ паровыхъ машинъ, установленныхъ на благопріятно расположенныхъ мѣстахъ, можно гораздо дешевле получать данную энергію, чѣмъ при помощи многихъ небольшихъ машинъ, расположенныхъ въ опредѣленныхъ мѣстахъ и подчиненныхъ извѣстнымъ мѣстнымъ условіямъ. Если большая паровая установка расположена тамъ, гдѣ земля дешева и возможна доставка угля или по рельсовому пути, непосредственно соединенному съ желѣзнодорожною сѣтью, или при благопріятныхъ условіяхъ прямо съ каменноугольныхъ копей, тамъ стоимость лошадиной силы значительно меньше, чѣмъ при небольшихъ паровыхъ машинахъ, установленныхъ внутри городовъ; еще лучше, конечно, были бы условія, если имѣется въ распоряженіи значительная и удобная для пользованія ею водяная сила, которую можно было бы утилизировать съ относительно небольшими расходами на установку и на эксплоатацію. Все дѣло при этомъ сводилось бы къ передачѣ соотвѣтственнымъ способомъ полученной такимъ образомъ энергіи къ мѣстамъ потребленія, и притомъ, такъ, чтобы пользованіе ею здѣсь обходилось бы дешевле, чѣмъ полученіе энергіи на мѣстѣ при помощи отдѣльныхъ машинъ-двигателей. Въ настоящее время еще не установлено окончательно, какая изъ различныхъ системъ передачъ работы (пригодная для даннаго частнаго случая) лучше. Каждая система имѣетъ извѣстныя преимущества и недостатки, и только по разсмотрѣніи всѣхъ обстоятельствъ возможно рѣшить для каждаго даннаго случая, которой изъ нихъ слѣдуетъ отдать преимущество, и даже тогда часто бываетъ невозможно дать безусловно вѣрное и точное рѣшеніе.

Мысль о центральномъ снабженіи энергіею приходила еще Папину; онъ предполагалъ передавать энергію на далекія разстоянія посредствомъ полученія и поддерживанія разрѣженія въ длинныхъ трубопроводахъ. Мурдохъ, геніальный родственникъ и сотрудникъ Джемса Ватта, также занимался, съ большимъ остроуміемъ и оригинальностью, вопросомъ распредѣленія на далекія разстоянія энергіи при посредствѣ сжатаго и разрѣженнаго воздуха. Но только въ новѣйшее время задача передачи энергіи на далекія разстоянія и снабженія силою изъ центральныхъ устройствъ получила практическое разрѣшеніе различными способами.

Къ наиболѣе важнымъ устройствамъ по снабженію энергіей въ широкомъ смыслѣ принадлежатъ городскія газовыя устройства. При ихъ посредствѣ внутри города распредѣляется хотя и не механическая работа, но средство для ея полученія; свѣтильный газъ возможно примѣнять въ любомъ мѣстѣ для полученія механической работы посредствомъ газовыхъ двигателей. Въ этомъ отношеніи городскія газовыя устройства въ дѣйствительности уже съ давнихъ поръ представляютъ и будутъ представлять еще и въ ближайшемъ будущемъ наиболѣе важную систему центральнаго снабженія энергіею для двигателей средней и небольшой силы, напр. для мелкой и средней промышленности; по точнымъ даннымъ, въ Германіи въ 1895 году было въ работѣ круглымъ числомъ 25 000 газовыхъ двигателей, развивавшихъ свыше 100 000 лошадиныхъ силъ; нѣтъ никакой другой системы распредѣленія энергіи, которая доставляла бы приблизительно такое же большое количество энергіи по большей части при посредствѣ небольшихъ двигателей. Газовыя сѣти пригодны и въ техническомъ, и въ экономическомъ отношеніи, по преимуществу для снабженія энергіей среднихъ и небольшихъ двигателей. Преимущества газовыхъ двигателей на большую мощность уже ранѣе были изложены болѣе подробно; распредѣленіе газа по трубамъ изъ одного мѣста на большой районъ также очень просто, технически совершенно и способно развить много энергіи. Проводка газа, т.-е. передача силы возможна съ очень небольшими потерями и на очень большія разстоянія. Обѣ большія, 85 см. ширины, главныя трубы новой газовой сѣти въ Берлинѣ у

Шмаргендорфа въ состоянiи пропускать ежечасно до 18 000 куб. метровъ газа на разстоянiе $4^1/_2$ километровъ; этимъ количествомъ газа двигатели могли бы развивать до 25 000 лошадиныхъ силъ. Для передачи этого количества газа на указанное разстоянiе необходимо давленiе въ $^1/_{40}$ атмосферы, получаемое при помощи особой машины въ 5 лошадиныхъ силъ; на передачу такимъ образомъ затрачивается только около $\frac{1}{5000}$ всей передаваемой энергiи. Еще болѣе значительна мощность обоихъ главныхъ трубопроводовъ въ 1,2 метра дiаметромъ Лондонскаго газоваго завода въ Бектонѣ; они могутъ проводить ежечасно 85 000 куб. метровъ газа на 13 километровъ разстоянiя, въ Лондонъ; при посредствѣ этого количества газа газовые двигатели могли бы развить 120 000 лошадиныхъ силъ.

Городскiе водопроводы точно также могутъ служить для распредѣленiя энергiи, но въ этомъ отношенiи они имѣютъ сравнительно небольшое значенiе. Вода подъ давленiемъ изъ водопроводныхъ трубъ можетъ примѣняться для полученiя работы при посредствѣ водяныхъ двигателей. Существуютъ различные двигатели для этой цѣли; при обыкновенномъ давленiи, какое существуетъ въ городскихъ водопроводахъ, отъ 3 до 6 атмосферъ, получаемая при этомъ энергiя въ большинствѣ случаевъ обходится слишкомъ дорого, такъ какъ энергiя, заключаемая въ водѣ, очень мала въ сравненiи съ цѣнностью воды изъ городскихъ водопроводовъ. Энергiя эта, какъ указано ранѣе, при описанiи водяныхъ двигателей, равна произведенiю изъ вѣса (или количества) воды и давленiя, подъ которымъ она находится; 1 куб. метръ воды подъ давленiемъ въ четыре атмосферы = 40 м. давленiя, заключаетъ въ себѣ энергiю въ $1000 \times 40 = 40000$ килограммометровъ въ секунду или, считая на часы $\frac{40000}{60.60.75} = 0{,}15$ лошадиной силы, изъ которой можно получить, быть можетъ, только 0,10 лошадиной силы; слѣдовательно, расходъ воды на лошадиную силу достигаетъ 10 куб. метровъ ежечасно. Конечно, для механической работы вообще это очень дорого, и водяные двигатели, присоединенные къ городскимъ водопроводамъ, могутъ имѣть примѣненiе только въ особыхъ случаяхъ, при небольшихъ двигателяхъ, которые притомъ должны работать съ перерывами, въ теченiи небольшихъ промежутковъ времени; во всякомъ случаѣ они имѣютъ нѣкоторыя преимущества въ большемъ удобствѣ, чистотѣ и безопасности. Обыкновенные городскiе водопроводы не имѣютъ почти никакого значенiя для распредѣленiя энергiи въ большихъ размѣрахъ. Они обыкновенно и не устраиваются для этой цѣли; при устройствѣ ихъ не стремятся сообщать водѣ возможно большей энергiи для возможности передачи силы; самые способы полученiя и очищенiя воды на центральныхъ станцiяхъ, на водопроводахъ уже имѣютъ большое влiянiе на цѣнность воды; только при сжатiи воды до извѣстнаго давленiя — доставленiемъ ея въ высоко расположенные резервуары или сжатiемъ ея въ компрессорахъ сообщается водѣ извѣстная, но относительно небольшая энергiя, которою и можно было бы пользоваться, но къ этому здѣсь еще присоединяются безполезные для цѣлей движенiя расходы на полученiе и очищенiе воды.

Совершенно другiя условiя существуютъ при распредѣленiи воды подъ давленiемъ. Въ этомъ случаѣ вода служитъ исключительно или главнымъ образомъ средствомъ для передачи энергiи, и все устройство сооружается при этомъ на совершенно другихъ основанiяхъ. Здѣсь не требуется чистоты воды, какъ въ питьевой водѣ; достаточно, если её очищаютъ механически; её можно брать прямо изъ озеръ или изъ рѣкъ и примѣнять прямо безъ очищенiя. Чтобы получить при данномъ количествѣ воды возможно большую энергiю, воду доводятъ до возможно бóльшаго давленiя,

примѣрно до 100 атмосферъ. Такія установки для распредѣленія энергіи при посредствѣ воды подъ давленіемъ часто въ послѣднее время устраиваются въ большихъ размѣрахъ. Грандіозный примѣръ подобнаго устройства представляетъ замѣчательная вододѣйствующая установка въ Женевѣ. На этой установкѣ пользуются водяною силою Роны, причемъ одновременно регулируется и уровень воды въ Женевскомъ озерѣ; количество воды въ Ронѣ достигаетъ при низкомъ уровнѣ водѣ до 70 куб. метровъ въ секунду, зимою же, при высокомъ уровнѣ воды, до 700 куб. метровъ. Для пріема водяной силы была установлена съ 1883 по 1886 г. центральная станція, на которой приводятся въ дѣйствіе при помощи турбинъ водяные насосы; послѣдніе доставляютъ воду отчасти въ резервуаръ на 50 м. высоты, откуда она распредѣляется подъ малымъ давленіемъ для обыкновеннаго домашняго потребленія, отчасти въ резервуаръ, расположенный на высотѣ 120 м., откуда она и расходуется подъ высокимъ давленіемъ для цѣлей движенія; отъ послѣдняго резервуара вода распредѣляется по всему городу по трубопроводамъ высокаго давленія; къ послѣднимъ присоединено большое число водяныхъ двигателей. Успѣхъ этой установки выдающійся; такъ какъ полученіе воды, а также и работа станціи происходятъ при благопріятныхъ условіяхъ, то вода здѣсь можетъ продаваться дешево и благодаря распредѣленію дешевой и въ удобномъ видѣ энергіи здѣсь значительно развилась мелкая промышленность. Другая значительная по размѣрамъ установка для распредѣленія воды подъ давленіемъ существуетъ въ Цюрихѣ.

Особеннымъ образомъ примѣняется вода подъ давленіемъ для передачи работы въ гидравлическихъ и подъемныхъ кранахъ. Подобныя установки часто устраивались въ восьмидесятыхъ и девятидесятыхъ годахъ на желѣзнодорожныхъ вокзалахъ, фабрикахъ, а также въ гаваняхъ, напр., въ Германіи въ большихъ размѣрахъ въ Гамбургѣ и Бременѣ. Вода на центральныхъ станціяхъ доводится при помощи паровыхъ машинъ и насосовъ до высокаго давленія, напр. до 50—100 атмосферъ; эта вода подъ давленіемъ распредѣляется трубопроводами къ мѣстамъ потребленія, гдѣ она и приводитъ въ дѣйствіе гидравлическіе краны и подъемныя машины. На центральной станціи или на промежуточныхъ и конечной станціяхъ включаются въ водопроводную сѣть аккумуляторы; послѣдніе замѣняютъ собою высокіе резервуары обыкновенныхъ водопроводовъ. Чтобы имѣть возможность выравнивать неизбѣжныя колебанія между нагнетаемой при равномѣрномъ ходѣ машины водою и неравномѣрно потребляемою водою, было бы невозможнымъ накачивать воду въ высоко расположенные резервуары; подобный резервуаръ при упомянутомъ давленіи долженъ былъ бы имѣть высоту отъ 500 до 1000 метровъ. Вмѣсто него включены желѣзные цилиндры, въ которыхъ плотно двигаются поршни, нагруженные большимъ грузомъ. Если насосъ доставляетъ воды болѣе, чѣмъ въ данный моментъ ея потребляется, то вода идетъ въ аккумуляторъ и поднимаетъ поршень съ грузомъ вверхъ; если, наоборотъ, воды расходуется больше, чѣмъ доставляется насосомъ, аккумуляторъ доставляетъ воду въ водопроводныя трубы.

Сильно распространенною системою распредѣленія энергіи въ Сѣвероамериканскихъ городахъ, а также и въ Германіи, на разстоянія бо́льшія, чѣмъ различныя части одного и того же завода, является распредѣленіе водяного пара для переведенія въ дѣйствіе паровыхъ машинъ. Въ отдѣльныхъ установкахъ сама паровая машина представляетъ въ работѣ менѣе хлопотъ, чѣмъ паровой котелъ, который занимаетъ много мѣста и установка котораго внутри городовъ въ жилыхъ домахъ стѣснена подчиненіемъ различнымъ законодательнымъ требованіямъ; для избѣжанія отдѣльныхъ котловъ, устраиваются центральныя паровыя станціи съ большимъ числомъ паровыхъ котловъ, отъ которыхъ паръ распредѣляется по извѣстному району

по хорошо изолированнымъ трубамъ. Центральная станція по снабженію паромъ въ Нью-Іоркѣ состоитъ изъ 56 котловъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ въ четырехъ-этажномъ зданіи. Съ технической точки зрѣнія распредѣленіе пара невыгодно, такъ какъ даже при лучшей плотности соединеній трубъ и тщательной изолировкѣ трубопроводовъ нельзя избѣгнуть потерь на охлажденіе и паденія давленія; вслѣдствіе этого такія устройства возможно съ выгодою примѣнять только въ особенныхъ случаяхъ, въ густо застроеныхъ районахъ съ большимъ потребленіемъ пара и при очень высокой цѣнности на землю.

Наоборотъ, очень совершенна въ техническомъ отношеніи новая система центральнаго устройства по распредѣленію сжатаго воздуха, введенная въ употребленіе въ большихъ размѣрахъ въ первый разъ въ началѣ девятидесятыхъ годовъ австрійцамъ Поппомъ. Принципъ этой системы слѣдующій. Въ удобно расположенномъ мѣстѣ устраиваются центральныя станціи съ большими паровыми котлами и паровыми машинами лучшихъ конструкцій, приводящіе въ дѣйствіе приборы для сжатія воздуха (компрессоры); воздухъ сжимается до 6—7 атмосферъ въ большомъ резервуарѣ, и отсюда по трубамъ распредѣляется къ мѣстамъ потребленія, гдѣ имъ приводятся въ дѣйствіе особые двигатели; послѣдніе устроены на подобіе паровыхъ машинъ; сжатый воздухъ въ нихъ дѣйствуетъ на поршень, двигающійся въ цилиндрѣ; способъ дѣйствія ихъ, однако, совсѣмъ другой, такъ какъ здѣсь происходятъ совершенно другіе термодинамическіе процессы. Можно приводить въ дѣйствіе сжатымъ воздухомъ также и машины, конструированныя въ видѣ прежнихъ паровыхъ машинъ, даже обыкновенныя паровыя машины, однако, коэффиціентъ полезнаго дѣйствія ихъ былъ бы очень не великъ.

Распредѣленіе энергіи сжатымъ воздухомъ въ техническомъ отношеніи доведено до высокой степени совершенства. При проведеніи сжатаго воздуха по трубамъ даже при большихъ разстояніяхъ происходитъ весьма небольшая потеря энергіи, полученіе и примѣненіе сжатаго воздуха производится при посредствѣ новыхъ машинъ съ очень большой отдачей, дѣйствіе какъ машинъ центральной станціи, такъ и двигателей просто и всегда обезпечено; однако, можно сомнѣваться, чтобы также и въ экономическомъ отношеніи распредѣленіе энергіи при помощи сжатаго воздуха было выгоднымъ, что защищается сторонниками этой системы, и что съ нѣкоторыхъ точекъ зрѣнія можетъ быть оспариваемо. Электротехники утверждаютъ, что электрическая передача энергіи безусловно и въ любомъ отношеніи превосходитъ передачу сжатымъ воздухомъ; спеціалисты газоваго дѣла высчитываютъ, что при существующихъ цѣнахъ на газъ въ большинствѣ городовъ Германіи энергія, получаемая для промышленныхъ цѣлей посредствомъ газовыхъ двигателей, дешевле, чѣмъ могутъ её доставлять центральныя станціи сжатаго воздуха, вслѣдствіе высокихъ расходовъ послѣднихъ на устройство и связанныхъ съ этимъ большихъ налоговъ въ видѣ процентовъ и амортизаціи. До сихъ поръ эти обстоятельства еще не достаточно выяснены, но, повидимому, въ дѣйствительности система сжатаго воздуха не имѣетъ большого практическаго успѣха. Большая парижская установка во всякомъ случаѣ очень несовершенна и въ техническомъ отношеніи не можетъ имѣть настоящаго успѣха; въ Германіи она не нашла подражаній въ большихъ размѣрахъ. Однако, въ Германіи съ 1891 г. существуетъ небольшая центральная станція сжатаго воздуха въ Оффенбахѣ, въ техническомъ отношеніи далеко превосходящая большую парижскую установку; уже давно предложено много проектовъ для большихъ городовъ, но ни одинъ изъ нихъ не былъ еще приведенъ въ исполненіе.

Значительно большій успѣхъ имѣла въ послѣднее десятилѣтіе передача энергіи при помощи электрическаго тока. Нѣкоторое время, въ осо-

бенности въ началѣ девятидесятыхъ годовъ, надежды, возлагавшіяся на электрическую передачу энергіи, были очень велики; теперь же чрезмѣрное, неподверженное критикѣ увлеченіе, когда ожидался въ недалекомъ будущемъ полный переворотъ во всемъ дѣлѣ снабженія энергіей для промышленныхъ и техническихъ цѣлей, такой же, какой былъ произведенъ паровой машиной Ватта, уступило мѣсто спокойному развитію. Толчекъ къ чрезмѣрнымъ ожиданіямъ былъ данъ грандіознымъ въ техническомъ отношеніи успѣхомъ ставшей извѣстною во всемъ свѣтѣ Лауффенской передачи энергіи на электротехнической выставкѣ въ Франкфуртѣ на Майнѣ 1891 года. Отъ упомянутыхъ уже ранѣе турбинъ, установленныхъ на заводѣ портландскаго цемента въ Лауффенѣ, энергія, развиваемая тюрбиной въ 300 лошадиныхъ *силъ, передавалась по проводамъ въ Франкфуртъ, отстоящій на 175 км. и* притомъ съ весьма большимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія, въ 75%; на выставкѣ въ Франкфуртѣ энергія, получаемая отъ водопада Неккара въ Лауффенѣ, питала около 1000 лампъ накаливанія и кромѣ того приводила въ дѣйствіе водокачку, поднимавшую воду на 10 метровъ высоты, откуда послѣдняя падала въ видѣ водопада; такимъ образомъ водопадъ, отстоящій на 175 км., своею собственною силою здѣсь снова воспроизводился въ меньшихъ размѣрахъ. Передача производилась посредствомъ полыхъ мѣдныхъ проводовъ, расположенныхъ на столбахъ, т.-е. надземными проводами. Этотъ грандіозный, въ техническомъ отношеніи вполнѣ удавшійся опытъ, былъ въ нравѣ возбудить большое вниманіе. Но успѣхъ здѣсь былъ главнымъ образомъ техническій, а не экономическій; вслѣдствіе весьма значительныхъ расходовъ по устройству, не смотря на большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, энергія, передаваемая въ Франкфуртъ, была бы слишкомъ дорогою для малой промышленной утилизаціи ея. Если же къ дѣйствительнымъ расходамъ по устройству этой установки присоединить такіе расходы, какъ плата за водяную силу, полученіе и передача на разстояніе электрическаго тока для промышленныхъ предпріятій, то, по мнѣнію проф. Ридлера, даже если бы была возможна передача безъ потерь при многочисленныхъ преобразованіяхъ и притомъ на далекія разстоянія, т.-е. если бы воможно было пользоваться въ Франкфуртѣ всею энергіею въ 300 лошадиныхъ силъ, получаемою въ Лауффенѣ, то и тогда всею суммою расходовъ возможно было бы покрыть не только устройство хорошей полной установки съ паровыми машинами на 300 лошадиныхъ силъ, но еще и расходы по эксплоатаціи и проценты. Этотъ примѣръ однако не понижаетъ значенія электрической передачи энергіи, но только показываетъ, что не слѣдуетъ ослѣпляться выдающимся техническимъ успѣхомъ удавшихся опытовъ, какъ это часто случается; рѣшающее значеніе всегда имѣетъ экономическій успѣхъ, а послѣдній не всегда, часто даже въ весьма малой степени, зависитъ отъ техническаго коэффиціента полезнаго дѣйствія данной установки.

Принципъ электрической передачи энергіи въ своихъ основаніяхъ тотъ же, что и всякой другой системы передачи энергіи, только онъ не настолько нагляденъ, такъ какъ средство къ передачѣ, электрическій токъ, непосредственно недоступенъ нашимъ понятіямъ, какъ напр. канатъ, пары воды или газъ. При этомъ способѣ передачи электрическая энергія развивается динамомашиной, приводимой въ дѣйствіе какой либо машиной — двигателемъ. Энергія въ этой формѣ проводится по соотвѣтствующей системѣ проводовъ, и на мѣстахъ потребленія опять преобразуется въ механическую работу вторичными машинами, электродвигателями. Главнѣйшее значеніе въ электрической передачѣ энергіи имѣетъ система проводки; для передачи возможно примѣнять какъ постоянный, такъ и перемѣнный токъ. При небольшихъ разстояніяхъ постоянный токъ имѣетъ преимущество, такъ какъ приводимые имъ въ дѣйствіе двигатели легче пускаются въ ходъ;

перемѣнный токъ наоборотъ имѣетъ очень важное значеніе для большихъ разстояній; онъ превосходитъ въ экономическомъ отношеніи постоянный токъ тѣмъ, что съ нимъ можно работать при очень высокихъ напряженіяхъ, благодаря чему значительно уменьшаются потери въ проводахъ и затраты на устройство послѣднихъ. Этими потерями главнымъ образомъ обусловливается предѣлъ въ экономическомъ отношеніи возможности устройства электрической передачи работы. При передачѣ энергіи Лауффенъ — Франкфуртъ въ первый разъ была примѣнена въ большихъ размѣрахъ новая система тока, — трехфазный токъ, особый видъ перемѣннаго тока, обладающій извѣстными существенными преимуществами, главнымъ образомъ тѣмъ, что двигатели трехфазнаго тока при пускѣ въ ходъ начинаютъ идти сами собою, чего не бываетъ при двигателяхъ обыкновеннаго перемѣннаго тока. Передача работала при напряженіи въ 10 000—15 000 вольтъ и только особая причина — несвоевременное изготовленіе спеціально для этой цѣли заказанныхъ 9 000 масляныхъ изоляторовъ, сдѣлала невозможнымъ примѣненіе напряженія до 30 000 вольтъ.

Самою большою электрическою передачею энергіи являются ранѣе описанныя вододѣйствующія сооруженія у Рейнфельдена, которыя въ скоромъ времени будутъ закончены, и отчасти готовое съ 1897 года грандіозное вододѣйствующее сооруженіе при Ніагарскомъ водопадѣ въ Сѣверной Америкѣ.

Въ техническомъ отношеніи передача энергіи и центральное распредѣленіе энергіи посредствомъ электрическаго тока безъ сомнѣнія являются наиболѣе совершенною системою; передача происходитъ по двумъ проволокамъ безъ подвижныхъ частей, не требующимъ никакого надзора; онѣ не подвержены изнашиванію, занимаютъ мало мѣста и почти вездѣ могутъ быть прокладываемы; электрическіе двигатели превосходятъ всѣ остальные двигатели легкостью установки и спокойностью работы. Не смотря на это, распредѣленіе энергіи городскими электрическими станціями не получило еще значительнаго развитія, такъ какъ вообще расходы на полученіе и распредѣленіе энергіи слишкомъ велики для того, чтобы возможно было примѣнять электрическіе двигатели небольшой мощности. Въ извѣстныхъ случаяхъ, напр. на фабрикахъ, гдѣ работаетъ большое число исполнительныхъ механизмовъ съ небольшою затратою энергіи, какъ въ механическихъ мастерскихъ, у точныхъ механиковъ, на бумагопрядильныхъ фабрикахъ, въ типографіяхъ и т. д., электрическій приводъ доставляетъ настолько большія преимущества, что, благодаря особымъ условіямъ, большіе расходы на полученіе энергіи въ сравненіи съ обыкновенною трансмиссіей могутъ имѣть мало значенія. Тѣмъ не менѣе до сихъ поръ еще энергія, получаемая съ городскихъ электрическихъ станцій для цѣлей движенія, очень незначительна. Совсѣмъ другія условія существуютъ въ электрическихъ устройствахъ, которыя не предназначены, какъ городскія центральныя станціи, по преимуществу для электрическаго освѣщенія, но въ которыхъ напередъ уже имѣется въ виду главнымъ образомъ распредѣленіе энергіи для цѣлей движенія. Такія устройства находятъ основанія для экономическаго успѣха въ особенности тамъ, гдѣ, съ одной стороны, обыкновенный въ промышленности способъ полученія энергіи посредствомъ паровыхъ машинъ слишкомъ дорогъ вслѣдствіе недостатка въ углѣ и неблагопріятныхъ условій для перевозки его, съ другой стороны, гдѣ могутъ быть утилизированы удобныя водяныя силы, какъ это имѣетъ мѣсто при распредѣленіи энергіи въ Рейнфельденѣ. Подобною установкою является находящаяся съ недавняго времени въ полномъ ходу электрическая установка „La Goule“ въ Швейцаріи; для полученія энергіи здѣсь утилизируется водяная сила небольшой рѣчки Дубъ по близости французской границы, при la Goule, съ 15 куб. метр. воды въ секунду

при 26 м. паденія. Здѣсь при помощи трехъ тюрбинъ развивается около 1500 лошадиныхъ силъ; вся установка при полномъ ея устройствѣ разсчитана на 4000 лошадиныхъ силъ. Развиваемая энергія распредѣляется при помощи перемѣннаго тока съ напряженіемъ въ 5000 вольтъ на районъ радіусомъ въ 25 км.; въ отдѣльныхъ защищенныхъ мѣстахъ токъ высокаго напряженія преобразуется при помощи трансформаторовъ въ токъ низшаго, рабочаго напряженія, предназначенный для освѣщенія и для работы. Эта установка снабжаетъ энергіею 11 швейцарскихъ мѣстечекъ Бернской Юры и 6 французскихъ общинъ для цѣлей освѣщенія и движенія.

Вообще, при современномъ состояніи техники можно сказать, что распредѣленіе энергіи при помощи электрическаго тока съ центральныхъ станцій можетъ быть выгоднымъ только при особо благопріятныхъ условіяхъ. Непосредственно для распредѣленія энергіи внутри городовъ было бы весьма важно вытѣснить отдѣльные машины-двигатели, въ особенности паровыя машины съ ихъ опасными котлами и дымящими трубами, но въ настоящее время и, повидимому, въ ближайшемъ будущемъ мало имѣется на это надежды.

При сравненіи различныхъ системъ передачи и распредѣленія энергіи имѣетъ значеніе разсмотрѣніе слѣдующихъ обстоятельствъ. Способъ любой передачи зависитъ, во первыхъ, отъ способа полученія энергіи, во вторыхъ отъ превращенія полученной энергіи въ видъ энергіи, удобный для ея передачи, и отъ дальнѣйшаго опять преобразованія ея въ механическую работу. Всѣ три фактора вліяютъ на экономичность данной передачи; рѣшающее значеніе во многихъ случаяхъ имѣетъ послѣдній факторъ, т.-е. выбранный для передачи видъ энергіи, со свойствами котораго связаны извѣстные преимущества и недостатки; главнѣйшее значеніе имѣетъ выборъ такого вида энергіи для ея передачи, особыя свойства котораго всего лучше соотвѣтствовали бы мѣстнымъ условіямъ и требованіямъ даннаго случая. Лучшей и наиболѣе выгодной системы передачи и распредѣленія для всѣхъ случаевъ дать нельзя; всѣ системы при извѣстныхъ условіяхъ имѣютъ свое право на существованіе. Вообще же слѣдуетъ сказать, что ни одна изъ системъ передачъ энергіи въ ближайшемъ будущемъ не въ состояніи будетъ вытѣснить способа непосредственнаго полученія энергіи при помощи водяного пара; уголь является главнымъ и самымъ важнымъ источникомъ энергіи, господствующимъ надъ всѣми остальными употребляемыми источниками энергіи и надъ всею промышленностью.

Именной и предметный указатель.

Цифры обозначають страницы.

Опечатки:

Стр. 196, 16 строка сверху, вмѣсто Грига, слѣдуетъ читать Гросса.
„ 416, строка 31 и 36 сверху, вмѣсто Липперегея, слѣд. чит. Липперсгея.
„ 420. Подпись рис. 487, вмѣсто Трепелъ билина, слѣд. Трепелъ изъ Билина.
„ 420. „ „ 488, „ Сланецъ орана „ Сланецъ изъ Орана.

Каталогъ изданій
Книгоиздательскаго Т-ва „Просвѣщеніе“
С.-Петербургъ, Невскій пр. 50.

Главное представительство для Россіи Библіографическаго Института (Мейеръ) въ Лейпцигѣ и Вѣнѣ

Январь 1902 г.

Сочиненія справочнаго характера.

	Р.	К.
Большая Энциклопедія. Словарь общедост. свѣдѣній по всѣмъ отрасл. знан., подъ общ. ред. ***С. Н. Южакова*** и проф. ***П. Н. Милюкова.*** Съ 10,000 рис., картъ и план. въ текстѣ и на 1000 отдѣльн. приложен.: хромолитогр., карт. въ краск. и черн. картин.		
200 выпусковъ по 50 коп. — 20 томовъ въ роскошн. полукожан. переплетахъ по	6	—
Иллюстрированный Настольный Календарь Т-ва „Просвѣщеніе“ на 1902-й г.		
На полированной доскѣ, съ дугами для перелистыванія и подставкой	1	20
Въ формѣ отрывного календаря	—	80

Популярно-научныя сочиненія по исторіи литературъ.

	Р.	К.
Исторія нѣмецкой литературы съ древнѣйш. врем. до настоящ. времени. Соч. проф. ***Фр. Фогта*** и ***М. Коха.*** Полн. пер. прив.-доц. Имп. Спб. унив. *А. Л. Погодина.* Съ 72 рис., 2 геліогравюр., 18 хромолитогр. и 6 черн. картин.		
15 выпусковъ по 50 коп. — Въ роскошн. полушагрен. перепл.	8	60

Популярно-научныя сочиненія по естествознанію: „Вся природа“.

	Р.	К.
Міроздание, общедост. астрономія, д-ра ***В. Мейера,*** бывш. директ. берлинск. „Ураніи“. Полн. пер. съ дополн. и библіогр. указат. по русск. астрон. литературѣ заслуж. проф. Спб. унив. *С. П. фонъ-Глазенапа.* Съ 287 рис., 10 карт. въ краск., 18 хромолитогр. и 13 черн. картин.		
Одобрено *Учен. Комит. Министерства Народн. Просвѣщенія для фундаментальныхъ и ученическихъ, старшаго возраста, библіотекъ среднихъ учебн. заведеній, для библіотекъ учительскихъ институтовъ и семинарій, для учительск. библіотекъ низш. училищъ и для безплатн. народн. читаленъ и библіотекъ.*		
15 вып. по 60 коп. — За все изданіе 7 р. 50 к. — Въ роскошн. полукожан. перепл.	8	60
Исторія земли, проф. ***М. Неймайра.*** Полн. пер. со 2-го, переработ. и дополн. проф. *Улигомъ* изданія, съ обширн. дополн. по геолог. Россіи и библіогр. указат. по русск. литературѣ, подъ общ. ред. заслуж. проф. *А. А. Иностранцева.* Съ 1129 рис., 4 карт. въ краск., 22 хромолитогр. и 12 рѣз. на дер. картин.		
Рекомендовано *Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвѣщенія для всѣхъ среднихъ учебныхъ заведеній.*		
30 вып. по 50 коп. — За все изданіе 12 р. 80 к. — Въ 2 роскошн. полукож. перепл.	15	—

Подробные иллюстрированные проспекты высылаются по требованію безплатно, первые выпуски для ознакомленія за 6 семикоп. марокъ. Допускается разсрочка платежа.

	Р.	К.
Сельское хозяйство и обработка важнѣйшихъ его продуктовъ. Полн. пер. съ 9-го нѣм. изд. подъ ред. и съ дополн. проф. Спб. Лѣсного Института ***В. Н. Доброволянскаго.*** Съ 600 рис. и 9 прилож. (цвѣтн. и черн. картин.).		
10 выпусковъ . . . . по	—	50
Горное дѣло и металлургія. Полн. пер. съ IX нѣм. изд. съ измѣнен. и обширн. дополн., подъ ред. проф. Спб. Горн. Института ***И. В. Мушкетова*** и ***В. И. Баумана.*** Съ 600 рис. и 12 приложен. (цвѣтн. и черн. картин.).		
10 выпусковъ по 50 коп. — За все изданіе въ роскошн. полукожан. перепл. . . .	6	—
Технологія металловъ. Полн. пер. съ 9-го нѣм. изд. съ значит. дополн. и подъ ред. проф. Спб. Горн. Института Екатерины II ***А. П. Митинскаго.*** Съ 1600 рис. и 6 прилож. (черн. картин.).		
10 выпусковъ . . . . по	—	50
Обработка камней и земель и технологія химическихъ производствъ. Полн. пер. съ 9-го нѣм. изд. подъ ред. проф. Института Гражданскихъ Инж. ***В. В. Эвальда.*** Съ 1000 рис. и 3 прилож. (хромолитогр. и черн. картин.).		
10 выпусковъ . . . . по	—	50

Популярно-научные альбомы картинъ по географіи и естествознанію.

	Р.	К.
Альбомъ картинъ по географіи Европы. Поясинт. текстъ д-ра *А. Гейстбека.* Пер. съ дополн. преподават. географіи *А. П. Нечаева,* съ предислов. *Д. А. Коропчевскаго.* 75 стр. текста и 283 отдѣльн. рѣз. на дер. худож. рис. и картинъ.		
Одобренъ Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвещенія для ученическихъ библіотекъ гимназій, реальныхъ училищъ, учительскихъ институтовъ и семинарій и городскихъ училищъ.		
Допущенъ въ безплатныя народныя читальни и библіотеки.		
Одобренъ Ученымъ Комитетомъ Министерства Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ для библіотекъ подвѣдомственныхъ Министерству Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ учебныхъ заведеній.		
Одобренъ Учебнымъ Комитетомъ Министерства Финансовъ, какъ полезное пособіе при изученіи географіи въ коммерческихъ учебныхъ заведеніяхъ вѣдомства Министерства Финансовъ.		
*Одобренъ Учебнымъ Комитетомъ при Собственной **Его Императорскаго Величества** Канцеляріи по учрежденіямъ **Императрицы Маріи** для пріобрѣтенія въ ученическія библіотеки средняго и старшаго возрастовъ среднихъ учебныхъ заведеній и старшаго возраста Маріинскихъ училищъ Вѣдомства учрежденій **Императрицы Маріи.***		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	50
Альбомъ картинъ по географіи внѣевропейскихъ странъ. Описательный текстъ д-ра ***А. Гейстбека.*** Полн. пер. преподават. учительск. Института въ Спб. *А. П. Нечаева,* съ предислов. проф. *Д. А. Коропчевскаго.* 85 стр. текста и 314 отдѣльн. рѣз. на дер. худож. рис. и картинъ.		
Одобренъ Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвещенія для ученическихъ библіотекъ гимназій, реальныхъ училищъ, учительскихъ институтовъ и семинарій и городскихъ училищъ вѣдомства Министерства Народнаго Просвещенія.		
Допущенъ въ безплатныя народныя читальни и библіотеки.		
Одобренъ Ученымъ Комитетомъ Министерства Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ для библіотекъ подвѣдомственныхъ Министерству Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ учебныхъ заведеній.		
Одобренъ Учебнымъ Комитетомъ Министерства Финансовъ, какъ полезное пособіе при изученіи географіи въ коммерческихъ учебныхъ заведеніяхъ вѣдомства Министерства Финансовъ.		
*Одобренъ Учебнымъ Комитетомъ при Собственной **Его Императорскаго Величества** Канцеляріи по учрежденіямъ **Императрицы Маріи** для пріобрѣтенія въ ученическія библіотеки средняго и старшаго возрастовъ среднихъ учебныхъ заведеній и старшаго возраста Маріинскихъ училищъ Вѣдомства учрежденій **Императрицы Маріи.***		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75

Подробные иллюстрированные проспекты высылаются по требованію безплатно, первые выпуски для ознакомленія за 6 семикоп. марокъ. Допускается разсрочка платежа.

	Р.	К.
Альбомъ картинъ по зоологіи млекопитающихъ. Описат. текстъ проф. д-ра ***В. Маршалля.*** Пер. съ нѣм. зоол. музея Императ. Академ. Наукъ *Г. Г. Якобсона* и *Н. Н. Зубовскаго*, съ предислов. проф. *Ю. Н. Вагнера.* 84 стр. текста съ 258 отдѣльн. рѣз. на дер. черн. рис.		
Рекомендованъ *Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвѣщенія для фундаментальныхъ библіотекъ всѣхъ среднихъ учебныхъ заведеній, для ученическихъ старшаго возраста библіотекъ мужскихъ гимназій и реальныхъ училищъ, для библіотекъ учительскихъ институтовъ и семинарій и для учительскихъ библіотекъ низшихъ училищъ.*		
Допущенъ *въ безплатныя читальни.*		
Одобренъ *Ученымъ Комитетомъ Министерства Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ для библіотекъ среднихъ сельско-хозяйственныхъ учебныхъ заведеній.*		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75
Альбомъ картинъ по зоологіи птицъ. Описат. текстъ проф. д-ра ***В. Маршалля.*** Пер. съ нѣм. зоол. музея Императ. Академ. Наукъ *Г. Г. Якобсона* и *Н. Н. Зубовскаго*, съ предислов. проф. *Ю. Н. Вагнера.* 76 стр. текста и 238 отдѣльн. рѣз. на дер. черн. рис. на 184 табл.		
Рекомендованъ *Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвѣщенія для фундаментальныхъ библіотекъ всѣхъ среднихъ учебныхъ заведеній Министерства, для ученическихъ, старшаго возраста, библіотекъ мужскихъ гимназій и реальныхъ училищъ, для библіотекъ учительскихъ институтовъ и семинарій и для учительскихъ библіотекъ низшихъ училищъ.*		
Допущенъ *въ безплатныя читальни.*		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75
Альбомъ картинъ по зоологіи рыбъ. Описат. текстъ проф. д-ра ***В. Маршалля.*** Полн. пер. зоол. музея Императ. Академ. Наукъ *Г. Г. Якобсона* и *Н. Н. Зубовскаго*. 76 стр. текста и 208 отдѣльн. рѣз. на дер. худож. рис.		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75
Альбомъ картинъ по зоологіи низшихъ животныхъ. Описат. текстъ проф. д-ра ***В. Маршалля.*** Пер. зоол. музея Императ. Академ. Наукъ *Г. Г. Якобсона.* Ок. 70 стр. текста и 292 отдѣльн. рѣз. на дер. худож. рис. и картинъ.		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75
Альбомъ картинъ по географіи растеній. Съ описат. текст. д-ра ***М. Кронфельда.*** Полный пер. прив.-доц. Спб. университета ***А. Г. Генкеля.*** Ок. 80 стр. текста и 216 отдѣльн. рѣз. на дер. и вытравл. на мѣди худож. рис. по фотогр. на 116 стр.		
Въ изящномъ коленкоровомъ переплетѣ	1	75

На складѣ Товарищества находятся:

Жизнь бабочекъ, проф. ***Штандфусса.*** Пер. и дополн. подъ ред. *И. Я. Щевырева.* Съ 200 рисунковъ. *Цѣна 2 р. 50 к.*

Хрестоматія для устн. и письм. сочинен. съ приложен. 15 картинъ. Составили преподаватели ***В. Н. Куницкій*** и ***А. Л. Погодинъ.*** *Цѣна 60 коп.*

Всѣ рисунки, карты и хромолитографіи нашихъ изданій исполнены лучшими художниками и изготовлены по нашему заказу, въ Лейпцигѣ, Библіографическимъ Институтомъ и фирмой Отто Шпамеръ.

☞ Допускается самая широкая разсрочка платежа; условія разсрочки высылаются по требованію безплатно. ☜

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 18 апрѣля 1901 г. Типогр. Т-ва „Просвѣщеніе". Спб., 7 рота, соб. д. № 20.